



**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΜΑΚΕΔΟΝΙΑΣ**  
**ΣΧΟΛΗ ΚΟΙΝΩΝΙΚΩΝ ΚΑΙ ΑΝΘΡΩΠΙΣΤΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ**  
**ΠΑΙΔΑΓΩΓΙΚΟ ΤΜΗΜΑ ΝΗΠΙΑΓΩΓΩΝ**

**«Υπέρ-υδροφοβικότητα στην κλίμακα του νάνο:  
εφαρμογή και αξιολόγηση εκπαιδευτικού υλικού στη  
Δευτεροβάθμια Εκπαίδευση»**

**ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

**ΤΗΣ ΣΟΦΙΑΣ ΤΣΙΛΦΙΔΟΥ**

**ΓΙΑ ΤΗΝ ΑΠΟΚΤΗΣΗ ΤΟΥ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΟΥ ΤΙΤΛΟΥ:**

**«Εκπαίδευση στις Φυσικές Επιστήμες, το Περιβάλλον και την Τεχνολογία»**

**ΦΛΩΡΙΝΑ**

**ΙΑΝΟΥΑΡΙΟΣ 2020**



## Φύλλο Εξέτασης

1. Επόπτης: **Σπύρτου Άννα**, Καθηγήτρια ΠΤΔΕ/ΠΔΜ  
Βαθμός: \_\_\_\_\_  
Υπογραφή: \_\_\_\_\_ Ημερομηνία: \_\_\_\_\_
  
2. Δεύτερος Βαθμολογητής: **Χατζηκρανιώτης Ευριπίδης**, Καθηγητής ΑΠΘ  
Βαθμός: \_\_\_\_\_  
Υπογραφή: \_\_\_\_\_ Ημερομηνία: \_\_\_\_\_
  
3. Τρίτος Βαθμολογητής: **Παπαδοπούλου Πηνελόπη**, Αναπληρώτρια Καθηγήτρια ΠΤΝ/ΠΔΜ  
Βαθμός: \_\_\_\_\_  
Υπογραφή: \_\_\_\_\_ Ημερομηνία: \_\_\_\_\_  
  
Γενικός Βαθμός: \_\_\_\_\_

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

Υπογραφή:

Ημερομηνία:

*Στην οικογένειά μου...*

## Περιεχόμενα

Φύλλο Εξέτασης.....	3
Λίστα Εικόνων.....	6
Λίστα Γραφημάτων .....	7
Λίστα Πινάκων .....	8
Περίληψη.....	9
Λέξεις κλειδιά .....	10
Abstract .....	11
Keywords .....	11
Ευχαριστίες.....	12
1 <sup>ο</sup> Κεφάλαιο: Θεωρητικό πλαίσιο.....	13
1.1-Νανοεπιστήμη – Νανοτεχνολογία (N-ET).....	13
1.2-Το φαινόμενο της υπέρ-υδροφοβικότητας στην κλίμακα του νάνο .....	17
1.2.1 – Διαβροχή (Wetting) .....	17
1.2.2 – Η εξίσωση του Young – Λεία/Ιδανική επιφάνεια .....	20
1.2.3 – Τα δύο κλασσικά μοντέλα διαβροχής – Τραχιά επιφάνεια .....	21
1.2.4 – Λωτός και Τριαντάφυλλο (Lotus – leaf & Rose – petal).....	22
1.3 Μεγάλες Ιδέες.....	27
1.4 Η εκπαιδευτική αξία της N-ET.....	35
1.4.1 Εκπαιδευτική αξία της N-ET .....	35
1.4.2 Ιδέες Μαθητών .....	36
2 <sup>ο</sup> Κεφάλαιο: Σχεδιασμός και ανάπτυξη εκπαιδευτικού υλικού.....	43
2.1 Το Μοντέλο Εκπαιδευτικής Επανοικοδόμησης (MER).....	43
2.2 Μάθηση μέσω μικρών ερευνών (inquiry-based learning) .....	44
2.3 Παραδείγματα εκπαιδευτικών εφαρμογών N-ET.....	44
2.4 Σχεδιασμός και ανάπτυξη εκπαιδευτικού υλικού .....	47
2.4.1 Διδακτικός Μετασχηματισμός Περιεχομένου (ΔΜΠ) .....	47
2.4.2 Σχεδιασμός δραστηριοτήτων .....	52
2.4.3 Παρατηρήσεις Εκπαιδευτικής Παρέμβασης.....	61
2.4.4 Αξιολόγηση από ερευνήτρια ανά δίωρο .....	69
3 <sup>ο</sup> Κεφάλαιο: Μεθοδολογία .....	72
3.1-Σκοπός της έρευνας και ερευνητικά ερωτήματα .....	72
3.2-Μέθοδος συλλογής δεδομένων .....	72
3.3-Το δείγμα της έρευνας .....	76

3.4-Μέθοδος ανάλυσης δεδομένων .....	76
3.4.1. Τα επίπεδα κατανόησης (E) .....	77
3.5-Εγκυρότητα και αξιοπιστία έρευνας .....	82
4° Κεφάλαιο: Αποτελέσματα .....	83
5° Κεφάλαιο: Συμπεράσματα - Συζήτηση .....	111
5.1 – Συμπεράσματα .....	111
5.1.1 – Απόψεις μαθητών αναφορικά με το ενδιαφέρον και το χειρισμό των δραστηριοτήτων.....	111
5.1.2 – Απόψεις των μαθητών για το λωτό και το τριαντάφυλλο στη διάρκεια των δραστηριοτήτων.....	112
5.1.3 – Γενικές παρατηρήσεις από την παρέμβαση.....	113
5.2 – Περιορισμοί της έρευνας και προτάσεις για το μέλλον .....	115
Βιβλιογραφικές Αναφορές .....	116
Παράρτημα Ι .....	121
Παράρτημα ΙΙ .....	138

## Λίστα Εικόνων

Εικόνα 1: Η νανοκλίμακα (Hornyak, 2009: σελ 45).....	15
Εικόνα 2: Σταγόνες νερού σε υπέρ-υδροφικές επιφάνειες, (a) μεμβράνη χρυσού, (b) δισκίο Si (c) λεπτό ύφασμα Kimwipe® (d) βαμβάκι (Carre & Mittal, 2009: σελ 10) .....	17
Εικόνα 3: Γωνία επαφής (Contact Angle), Γωνία κλίσης (Tilt Angle), Υστέρηση γωνίας επαφής (Contact Angle Hysteresis) (Bhushan, 2010:σελ 1421) .....	19
Εικόνα 4: Μοντέλα Wenzel και Cassie-Baxter (Law&Zhao, 2016:σελ 59).....	22
Εικόνα 5: Το φύλλο του Λωτού σε διάφορες μεγεθύνσεις (Li, Huang, Chen & Lai, 2017) .....	23
Εικόνα 6: Αυτοκαθαρισμός επιφάνειας Λωτού (Nosonovsky & Rohatgi, 2012: σελ 324) .....	24
Εικόνα 7: Πέταλο σε γωνία κλίσης (a) 0° και (b) 180° (Bhushan & Nosonovsky, 2010) .....	25
Εικόνα 8: The rose petal effect (Bhushan & Nosonovsky, 2010).....	26
Εικόνα 9: Οι σχέσεις μεταξύ των Μεγάλων Ιδεών της N-ET (Stevens et al., 2009: σελ 5).....	28
Εικόνα 10: Αξιολόγηση μεγέθους-κλίμακας. Ποιο είναι το μικρότερο αντικείμενο που μπορείτε να σκεφτείτε; (Castellini et al., 2007).....	37
Εικόνα 11: Ταξινόμηση αντικειμένων κατά σειρά μεγέθους (Castellini et al., 2007).....	38
Εικόνα 12: Το Μοντέλο Εκπαιδευτικής Αναδόμησης (MER) (Duit et al., 2012) .....	43
Εικόνα 13: Δραστηριότητα 1 .....	54
Εικόνα 14: Γωνία επαφής .....	54
Εικόνα 15: Εικόνα δραστηριότητας 2.....	55

Εικόνα 16: Φύλλα ακακίας-μαρουλιού.....	56
Εικόνα 17: Μικροπροεξοχές στο φύλλο του λωτού .....	57
Εικόνα 18: Φύλλα ακακίας-πέταλα τριαντάφυλλου .....	59
Εικόνα 19: Σταγόνα «κολλημένη» σε πέταλο τριαντάφυλλου.....	59
Εικόνα 20: Φωτογραφίες για μέτρηση γωνιών επαφής.....	60
Εικόνα 21: Μικροπροεξοχές στο πέταλο του τριαντάφυλλου .....	61
Εικόνα 22: Παράδειγμα 1 από φύλλο εργασίας.....	62
Εικόνα 23: Παράδειγμα 2 από φύλλο εργασίας.....	63
Εικόνα 24: Παράδειγμα 3 από φύλλο εργασίας.....	63
Εικόνα 25: Παράδειγμα 4 από φύλλο εργασίας.....	64
Εικόνα 26: Παράδειγμα 5 από φύλλο εργασίας.....	65
Εικόνα 27: Παράδειγμα 6 από φύλλο εργασίας.....	66
Εικόνα 28: Παράδειγμα 7 από φύλλο εργασίας.....	66
Εικόνα 29: Παράδειγμα 8 από φύλλο εργασίας.....	66
Εικόνα 30: Παράδειγμα 9 από φύλλο εργασίας.....	66
Εικόνα 31: Παράδειγμα 10 από φύλλο εργασίας.....	67
Εικόνα 32: Παράδειγμα 11 από φύλλο εργασίας.....	68
Εικόνα 33: Ενδεικτικό παράδειγμα από το ερωτηματολόγιο του 1 <sup>ου</sup> δώρου.....	74
Εικόνα 34: Ενδεικτικό παράδειγμα από τις αναπαραστάσεις των μαθητών .....	75
Εικόνα 35: Το δείγμα της έρευνας.....	76
Εικόνα 36: Παράδειγμα ζωγραφιάς 1 .....	79
Εικόνα 37: Παράδειγμα ζωγραφιάς 2.....	79
Εικόνα 38: Παράδειγμα ζωγραφιάς 3.....	80
Εικόνα 39: Παράδειγμα ζωγραφιάς 4.....	80
Εικόνα 40: Παράδειγμα ζωγραφιάς 5.....	81
Εικόνα 41: Διαφορά εικόνων ηλεκτρονικού μικροσκοπίου από νωπά και αποξηραμένα πέταλα τριαντάφυλλου (Tsai & Shih, 2012) .....	114

## Λίστα Γραφημάτων

Γράφημα 1: Απόψεις μαθητών για τον χειρισμό της EP_1.....	83
Γράφημα 2: Απόψεις μαθητών για τον χειρισμό της ΔΡ_1.....	84
Γράφημα 3: Απόψεις μαθητών για τον χειρισμό της ΔΡ_2α .....	84
Γράφημα 4: Απόψεις μαθητών για τον χειρισμό της ΔΡ_2β.....	85
Γράφημα 5: Απόψεις μαθητών για τον χειρισμό της ΔΡ_3.....	86
Γράφημα 6: Απόψεις μαθητών για τον χειρισμό της ΔΡ_4.....	87
Γράφημα 7: Απόψεις μαθητών για τον χειρισμό της ΔΡ_5.....	88
Γράφημα 8: Απόψεις μαθητών για τον χειρισμό της ΔΡ_6.....	89
Γράφημα 9: Απόψεις μαθητών για τον χειρισμό της ΔΡ_7.....	90
Γράφημα 10: Απόψεις μαθητών για τον χειρισμό της ΔΡ_8.....	91
Γράφημα 11: Απόψεις μαθητών για τον χειρισμό της ΔΡ_9.....	92

Γράφημα 12: Απόψεις μαθητών για τον χειρισμό της ΔΡ_10.....	93
Γράφημα 13: Απόψεις μαθητών για τον χειρισμό της ΔΡ_11.....	94
Γράφημα 14: Απόψεις μαθητών για το ενδιαφέρον που προκαλούσε η ΕΡ_1 .....	95
Γράφημα 15: Απόψεις μαθητών για το ενδιαφέρον που προκαλούσε η ΔΡ_1 .....	96
Γράφημα 16: Απόψεις μαθητών για το ενδιαφέρον που προκαλούσε η ΔΡ_2α.....	97
Γράφημα 17: Απόψεις μαθητών για το ενδιαφέρον που προκαλούσε η ΔΡ_2β.....	98
Γράφημα 18: Απόψεις μαθητών για το ενδιαφέρον που προκαλούσε η ΔΡ_3 .....	98
Γράφημα 19: Απόψεις μαθητών για το ενδιαφέρον που προκαλούσε η ΔΡ_4 .....	99
Γράφημα 20: Απόψεις μαθητών για το ενδιαφέρον που προκαλούσε η ΔΡ_5 .....	100
Γράφημα 21: Απόψεις μαθητών για το ενδιαφέρον που προκαλούσε η ΔΡ_6 .....	101
Γράφημα 22: Απόψεις μαθητών για το ενδιαφέρον που προκαλούσε η ΔΡ_7 .....	102
Γράφημα 23: : Απόψεις μαθητών για το ενδιαφέρον που προκαλούσε η ΔΡ_8 .....	102
Γράφημα 24: Απόψεις μαθητών για το ενδιαφέρον που προκαλούσε η ΔΡ_9 .....	103
Γράφημα 25: Απόψεις μαθητών για το ενδιαφέρον που προκαλούσε η ΔΡ_10 .....	104
Γράφημα 26: Απόψεις μαθητών για το ενδιαφέρον που προκαλούσε η ΔΡ_11 .....	104
Γράφημα 27: Μέσος όρος για τον χειρισμό των δραστηριοτήτων .....	106
Γράφημα 28: Μέσος όρος για το ενδιαφέρον των δραστηριοτήτων .....	107
Γράφημα 29: Αναπαράσταση ιεραρχικής δομής (μίκρο και νάνο δομή) και σωστή τοποθέτηση σταγόνας στο φύλλο του λωτού .....	108
Γράφημα 30: Αναπαράσταση ιεραρχικής δομής (μίκρο και νάνο δομή) και σωστή τοποθέτηση σταγόνας στο πέταλο του τριαντάφυλλου.....	112
Γράφημα 31: Σαφής αναπαράσταση διαφορετικής τοπογραφίας ή/και διαφορετική συμπεριφορά της σταγόνας στα φύλλα του λωτού και του τριαντάφυλλου.....	112

## Λίστα Πινάκων

Πίνακας 1: Περιεχόμενο της Ν-ΕΤ στις τρεις βαθμίδες της εκπαίδευσης .....	34
Πίνακας 2α: Διδακτικός Μετασχηματισμός Περιεχομένου .....	48
Πίνακας 2β: Διδακτικός Μετασχηματισμός Περιεχομένου .....	48
Πίνακας 3: Τα επίπεδα κατανόησης (Ε) - Αναπαράσταση ιεραρχικής δομής.....	78



## Περίληψη

Ένα σύγχρονο και κυρίαρχο πεδίο έρευνας φαίνεται να αποτελεί ο κλάδος της Νανοτεχνολογίας και Νανοεπιστήμης (N-ET), ο οποίος αναπτύσσεται με γρήγορους ρυθμούς προσφέροντας χρήσιμα προϊόντα και εφαρμογές. Οι ανάγκες της βιομηχανίας για ένα εξειδικευμένο εργατικό δυναμικό και η ανάγκη ανάπτυξης Νανογραμματισμού (Nanoliteracy) προβάλλονται ως βασικοί λόγοι για την εισαγωγή του σύγχρονου πεδίου στα σχολικά προγράμματα σπουδών.

Στην παρούσα εργασία παρουσιάζεται η εφαρμογή και η αξιολόγηση εκπαιδευτικού υλικού για το περιεχόμενο της N-ET και συγκεκριμένα για το φαινόμενο της υπέρ-υδροφοβικότητας στην κλίμακα του νάνο. Το εκπαιδευτικό υλικό περιλαμβάνει 11 δραστηριότητες οι οποίες αφορούν βασικές έννοιες της Νανοεπιστήμης-Νανοτεχνολογίας (N-ET) καθώς και τα φαινόμενα του λωτού και του τριαντάφυλλου στα οποία προσεγγίζονται η υπέρ-υδροφοβικότητα και η διαβροχή. Πρόκειται για 11 δραστηριότητες στις οποίες οι συμμετέχοντες εμπλέκονται σε πραγματικά πειράματα, επεξεργάζονται φωτογραφίες ηλεκτρονικού μικροσκοπίου με το λογισμικό «onlineruler», μετρούν τη γωνία επαφής με το λογισμικό «OnScreenProtactor» καθώς και με μοιρογνωμόνιο, παρατηρούν βίντεο για να αντιληφθούν την επιφάνεια των υπερυδροφόβων φυτών, εκφράζουν τις αρχικές τους ιδέες και καλούνται να τις αναθεωρήσουν καθώς εξελίσσεται η υλοποίηση των δραστηριοτήτων.

Το εκπαιδευτικό υλικό εφαρμόστηκε πιλοτικά σε 47 μαθητές της Γ' τάξης Γυμνασίου της περιοχής της Φλώρινας. Τα μέσα συλλογής δεδομένων ήταν τα ερωτηματολόγια καταγραφής απόψεων των μαθητών σχετικά με το χειρισμό και το ενδιαφέρον ως προς τις δραστηριότητες της παρέμβασης καθώς επίσης, δεδομένα της έρευνας συλλέχθηκαν μέσω των αναπαραστάσεων (ζωγραφιών) των μαθητών, στις οποίες σχεδίαζαν την επιφάνεια υπέρ-υδροφόβων φυτών (λωτός, τριαντάφυλλο).

Στόχος της έρευνας ήταν να αξιολογήσουμε το εκπαιδευτικό υλικό που εφαρμόσαμε ως προς το χειρισμό και το ενδιαφέρον, αλλά και να μελετήσουμε την εξέλιξη των αναπαραστάσεων (ζωγραφιών) των μαθητών κατά τη διάρκεια των δραστηριοτήτων.

Στα αποτελέσματα της έρευνας, φαίνεται ότι οι μαθητές έδειξαν ενδιαφέρον σχετικά με τις δραστηριότητες ειδικά για εκείνες που περιελάμβαναν πραγματικά πειράματα και ότι δεν αντιμετώπισαν ιδιαίτερη δυσκολία κατά την εκτέλεσή τους. Όσον αφορά τις αναπαραστάσεις (ζωγραφίες) των μαθητών παρατηρείται πως στην πορεία ανέπτυξαν το νανογραμματισμό τους περιγράφοντας το φαινόμενο σχεδιάζοντας την ιεραρχική δομή της επιφάνεια των φύλλων του λωτού και του τριαντάφυλλου με μικρο και νάνο εξογκώματα, τοποθετώντας σωστά τη σταγόνα

πάνω τους και αναπαριστώντας σωστά τη διαφορετική τοπογραφία των δύο επιφανειών.

### **Λέξεις κλειδιά**

φαινόμενο λωτού, φαινόμενο τριαντάφυλλου, ναοεπιστήμη-νανοτεχνολογία, γυμνάσιο

## Abstract

A modern and dominant field of research seems to be the Nanotechnology and Nanoscience (N-ST) industry, which is developing rapidly, offering useful products and applications. The industry's need for a skilled workforce and the need to develop Nanoliteracy are highlighted as key reasons for introducing the modern field into school curricula.

This paper presents the implementation and evaluation of educational material about the content of N-ST, and in particular on the phenomenon of superhydrophobicity in the nanoscale. The educational material and related activities concerning the salient concepts of nanoscience-nanotechnology (N-ST) as well as the lotus and rose effects via which superhydrophobicity and wetting phenomena are introduced. 11 activities have been designed in which participants engage in real experiments, study electron microscope images with the «onlineruler» free java app, measure the contact angle with the «OnScreenProtractor» free java app and a protractor as well, watch videos that provide access to the superhydrophobic plants' surface, express their initial ideas, which they are challenged to revise as the implementation progresses.

The educational material was pilot implemented to 47 junior high school students around Florina. The data collection tools were questionnaires to record students' views on manipulation and interest in intervention activities as well as research data collected through student representations (drawings) on which they projected the surface of hydrophobic plants (lotus leaf, rose petal).

The purpose of the research was to evaluate the educational material we applied to manipulation and interest, as well as to study the evolution of students' representations (drawings) during the activities.

In the results of the research, it seems that the students showed interest in activities specifically for those that included real experiments and that they did not experience any particular difficulty in performing them. Regarding the representations (drawings) of the pupils it is observed that in the course they developed their Nanoliteracy by describing the phenomenon by drawing the hierarchical structure of the surface of lotus leaf and rose petal with micro and nano bumps, placing the dropper correctly and topography of the two surfaces.

## Keywords

lotus effect, leaf, rose petal effect, nanoscience-nanotechnology, junior high school

## Ευχαριστίες

Αρχικά, θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά την επιβλέπουσα της παρούσας εργασίας, την Καθηγήτρια του Π.Δ.Μ. κ. Άννα Σπύρτου, η οποία μου έδωσε την ευκαιρία να μελετήσω τον καινοτόμο και συναρπαστικό κόσμο της Ν-ΕΤ μέσα από τη διδακτική των φυσικών επιστημών. Η καθοδήγησή της, οι γνώσεις, οι ιδέες, οι προτάσεις, οι διορθώσεις και η υποστήριξή της ήταν συνεχής και καίρια σε όλη τη διάρκεια της εκπόνησης της εργασίας και καθοριστικής σημασίας για την επίτευξή της. Ευχαριστώ επίσης, και τα άλλα δύο μέλη της εξεταστικής επιτροπής, τον Καθηγητή του Α.Π.Θ. κ. Ευριπίδη Χατζηκρανιώτη και την Αναπληρώτρια Καθηγήτρια του Π.Δ.Μ. κ. Πηνελόπη Παπαδοπούλου, για την υποστήριξη, τις πολύτιμες συμβουλές και διορθώσεις αλλά και τον προσωπικό χρόνο που αφιέρωναν κάθε φορά που ζητούσα τη βοήθειά τους.

Ένα μεγάλο ευχαριστώ στους δύο υποψήφιους Διδάκτορες, Λεωνίδα Μάνου και Γιώργο Πέικο, για την αμέριστη βοήθεια, το ανιδιοτελές μοίρασμα των γνώσεων και την στήριξη που μου έδειξαν. Ευχαριστώ την πραγματική φίλη που απέκτησα Κωνσταντίνα Σακελλάρη για τη βοήθειά της και την παρουσία της στην κοινή μεταπτυχιακή μας διαδρομή. Επιπλέον θα ήθελα να ευχαριστήσω όλη την ομάδα της Εκπαίδευσης των Φυσικών Επιστημών του Π.Δ.Μ. γιατί μου έδωσαν την ευκαιρία να συμμετέχω σε μία πραγματική ομάδα όπου όλοι βοηθάνε και συνεργάζονται με όλους. Ευχαριστώ οφείλω να πω στην καθηγήτρια κ. Θεοδώρα Πολατίδου που μου εμπιστεύτηκε τις τάξεις της και ήταν παρούσα σε όλη την διάρκεια της παρέμβασής.

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω ξεχωριστά τη μητέρα μου Νόπη, τον πατέρα μου Παύλο, τον αδελφό μου Γιάννη και τον Κώστα για την στήριξή τους, χωρίς αυτούς δεν θα μπορούσα να πραγματοποιήσω τίποτα από όσα ονειρεύτηκα. Ευχαριστώ όλους τους φίλους μου που πάντα είναι εκεί για να κάνουν τα πράγματα πιο εύκολα και χαρούμενα.

## 1<sup>ο</sup> Κεφάλαιο: Θεωρητικό πλαίσιο

### 1.1-Νανοεπιστήμη – Νανοτεχνολογία (N-ET)

Η νανοτεχνολογία είναι ένας από τους σημαντικότερους αναπτυσσόμενους τομείς του 21<sup>ου</sup> αιώνα. Η νανοεπιστήμη είναι η επιστήμη που στηρίζει τη νανοτεχνολογία και παρουσιάζει διεπιστημονικό χαρακτήρα. Οι νανοδομές παρουσιάζουν νέες και βελτιωμένες ιδιότητες και αυτό προκύπτει επειδή οι φυσικές και χημικές ιδιότητες είναι πολύ διαφορετικές όταν οι διαστάσεις μειώνονται στην περιοχή του νανόμετρου.

Η σύγχρονη προέλευση της νανοτεχνολογίας αποδίδεται συνήθως στον καθηγητή Richard Feynman, ο οποίος στις 29 Δεκεμβρίου 1959 στην ετήσια συνάντηση της Αμερικανικής Εταιρίας Φυσικής (American Physical Society) στο CalTech, είπε την κλασική πλέον φράση «There's Plenty of Room at the Bottom».

Το πρόθεμα νάνο προέρχεται από την ελληνική λέξη για τον νάνο και η νανοεπιστήμη ασχολείται με τη μελέτη ατόμων, μορίων και σωματιδίων νανοκλίμακας, σε έναν κόσμο που μετριέται σε νανόμετρα (δισεκατομμυριοστά ενός μέτρου ή  $10^{-9}$ ) (Chin, Sow, & Wee, 2010).

Η νανοεπιστήμη αναφέρεται στη μελέτη των υλικών της νανοκλίμακας (1-100nm), τα οποία παρουσιάζουν αξιοσημείωτες ιδιότητες, λειτουργίες και φαινόμενα λόγω της επίδρασης των μικρών διαστάσεων.

Η νανοτεχνολογία αποτελεί την εφαρμογή της νανοεπιστήμης, βασίζεται στη χειραγώγηση, τον έλεγχο και την ενσωμάτωση ατόμων και μορίων για τη δημιουργία υλικών, δομών, δομικών στοιχείων, συσκευών και συστημάτων στη νανοκλίμακα. Μέσα από τη νανοτεχνολογία φαίνεται να επιτυγχάνονται βιομηχανικοί και εμπορικοί στόχοι (Hornyak, 2009)

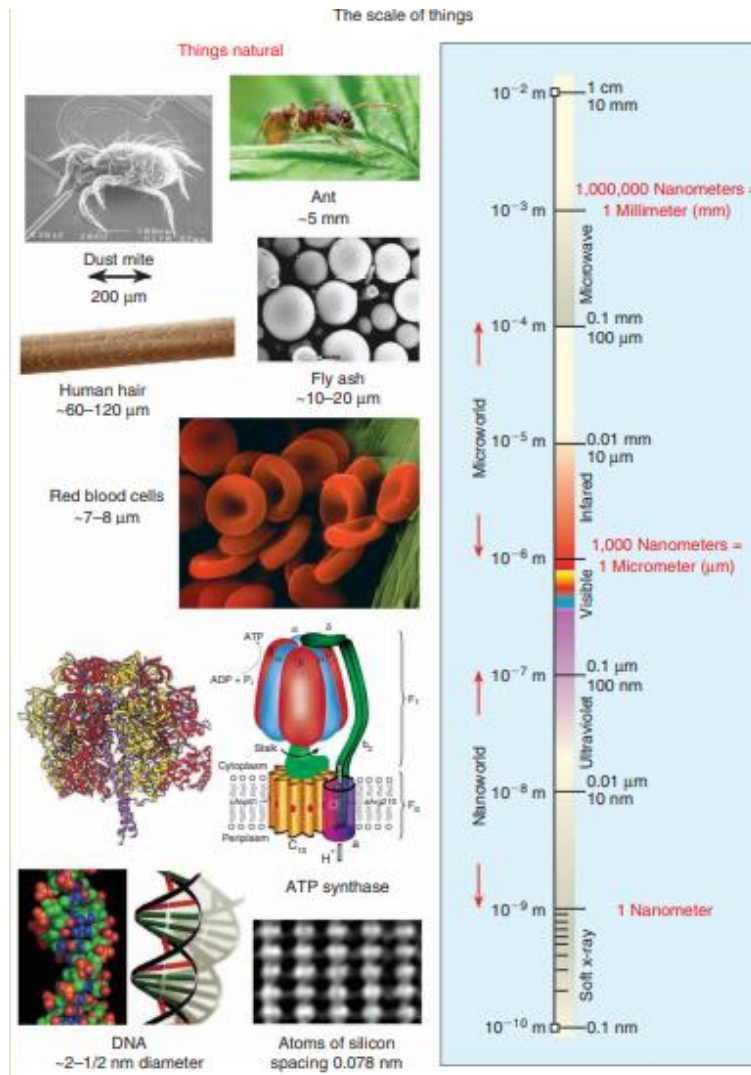
Η Νανοεπιστήμη – Νανοτεχνολογία (N-ET) είναι δύο αναπτυσσόμενα πεδία που φέρνουν επανάσταση στην επιστήμη. Η νανοεπιστήμη έχει να κάνει με το γεγονός ότι οι ιδιότητες των υλικών αλλάζουν σε συνάρτηση με τις φυσικές διαστάσεις του υλικού. Η νανοτεχνολογία επωφελείται από αυτό αξιοποιώντας τις συγκεκριμένες νέες ιδιότητες του υλικού στη δημιουργία χρήσιμων εφαρμογών. Το πρόθεμα «νάνο» χρησιμοποιείται επειδή η εξάρτηση των ιδιοτήτων από το φυσικό μέγεθος παρατηρείται κοντά στην νανοκλίμακα ( $10^{-9}$ m) (Hochella, 2002).

Οι διαστάσεις στις οποίες παρατηρούνται μεταβολές εξαρτώνται από το συγκεκριμένο υλικό και τη συγκεκριμένη ιδιότητα καθώς και από το ποια από τις τρεις διαστάσεις περιορίζεται στον πραγματικό χώρο. Υλικά με τουλάχιστον μία

διάστασή τους στη νανοκλίμακα βρίσκονται παντού. Το επιστημονικό ενδιαφέρον εντοπίζεται στην κατανόηση και πρόβλεψη των αλλαγών των ιδιοτήτων που παρατηρούνται στην νανοκλίμακα (Hochella, 2002).

Οι επιστήμονες χρησιμοποιούν τη νανοεπιστήμη για να αναπτύξουν τη νανοτεχνολογία η οποία εκτιμάται ότι θα έχει σημαντικό ρόλο στα ζητήματα βιωσιμότητας της γης στο μέλλον (Hochella, 2002).

Η νανοκλίμακα ορίζεται ότι περιλαμβάνει κάθε υλικό στο οποίο τουλάχιστον μία διάστασή του έχει διαστάσεις 1-100nm. Τα νέα βελτιωμένα εργαλεία που έχουν αναπτυχθεί επιτρέπουν στους επιστήμονες να μελετήσουν σε βάθος τον νανόκοσμο. Το κύριο χαρακτηριστικό αυτής της κλίμακας είναι ότι σε αυτήν τα υλικά παρουσιάζουν νέες και συχνά απροσδόκητες ιδιότητες οι οποίες δεν παρατηρούνται σε άλλες κλίμακες. Βασισμένη πάνω σε αυτήν την ανακάλυψη η έρευνα της N-ET προσανατολίστηκε στη δημιουργία νέων προϊόντων και τεχνολογιών, καθώς οι νέες πληροφορίες φαίνεται να έχουν ευρείες κοινωνικές επιπτώσεις σε διαφορετικούς τομείς (πχ υγειονομική περίθαλψη, περιβάλλον, βιωσιμότητα, κ.α.) (Stevens, Sutherland & Krajcik, 2009).



Εικόνα 1: Η νανοκλίμακα (Hornyak, 2009: σελ 45)

Η N-ET είναι ένας διεπιστημονικός κλάδος που συνδυάζει τη φυσική, τη χημεία, τη βιολογία και την επιστήμη των υλικών ώστε να μελετήσει αντικείμενα που ανήκουν στη νανοκλίμακα και το περιβάλλον τους. Στη νανοκλίμακα οι ιδιότητες και οι διαδικασίες αλλάζουν δραματικά σε σχέση με τη μακροκλίμακα που ζει και έχει τις περισσότερες εμπειρίες ο άνθρωπος. Συνεπώς το να καταλάβει κανείς τη συμπεριφορά των αντικειμένων στη νανοκλίμακα, αποτελεί μοναδική πρόκληση για τη διαισθητική αντίληψη που έχει οικοδομήσει από τις εμπειρίες του στον μακρόκοσμο. Αυτό που κάνει μοναδική τη νανοκλίμακα είναι οι τρεις ξεχωριστές ιδιότητες που έχει, και που σε σχέση με την μακροκλίμακα είναι πολύ πιο **κολλώδης (sticky)**, **αικίνητη (shaky)** και **τραχιιά (bumpy)**.

Η κολλητικότητα (stickiness), αναφέρεται στις διαμοριακές αλληλεπιδράσεις που κυριαρχούν στον κόσμο της νανοκλίμακας (η βαρύτητα είναι σχετικά ασήμαντη σε

σύγκριση με τις διαμοριακές αλληλεπιδράσεις: αλληλεπιδράσεις Van der Waal, δεσμός υδρογόνου, υδροφοβικές αλληλεπιδράσεις, κ.α.)

Η αεικινήσια (shakiness), αναφέρεται στη διάχυτη επίδραση της θερμικής ενέργειας των μορίων.

Η τραχύτητα (bumpiness), αναφέρεται όχι μόνο στη γεωμετρική τραχύτητα αλλά και στην τραχύτητα ή κβάντωση (quantization) στις μαγνητικές, ηλεκτρονικές, οπτικές και μηχανικές ιδιότητες (πχ σε ένα μακροσκοπικό καλώδιο, υπάρχει μία ομαλή γραμμική σχέση μεταξύ της εφαρμοζόμενης τάσης και του ρεύματος ενώ ένα σύρμα νανοκλίμακας θα παρουσιάσει βήμα σκαλοπατιού ή “ανώμαλο” ρεύμα σε σχέση με την εφαρμοζόμενη τάση) (Jones et al., 2013, Taylor, Jones & Pearl, 2008).

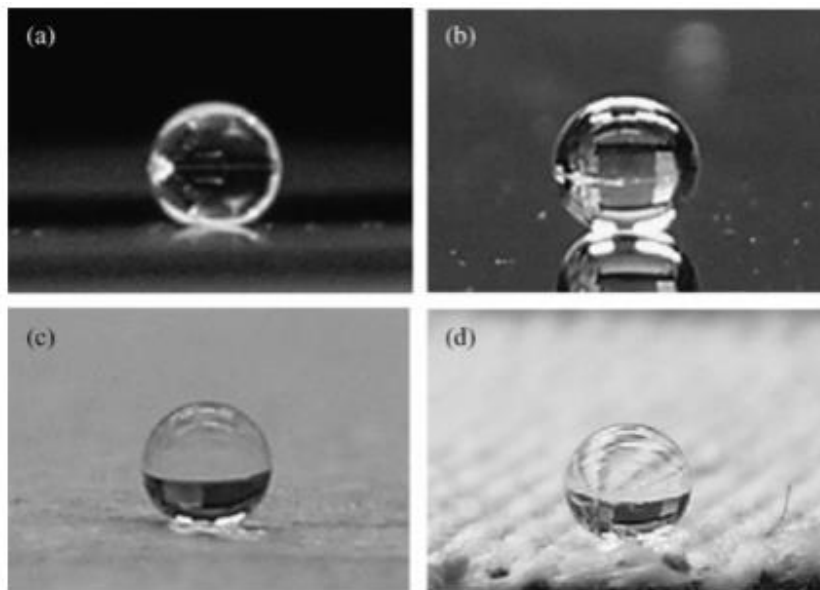
Η νανοτεχνολογία είναι η εφαρμογή επιστημονικών γνώσεων σχετικά με τη συμπεριφορά της ύλης στη νανοκλίμακα για την επίλυση πρακτικών προβλημάτων. Ο σχεδιασμός, η κατασκευή, η μοντελοποίηση και η δημιουργία πρωτοτύπων αποτελούν μέρος της διαδικασίας μηχανικής που οδηγεί στην τεχνολογική πρόοδο. Οι τεχνολογικές εξελίξεις έχουν ως αποτέλεσμα την παροχή εύκολης πρόσβασης σε τρόφιμα, αποχέτευση, υγειονομική περίθαλψη, επικοινωνία και μεταφορά για πολλούς ανθρώπους, αλλά μερικές φορές έχουν οδηγήσει σε απρόβλεπτες και ανεπιθύμητες εξελίξεις. Οι νέες ανακαλύψεις που έχουν κάνει οι επιστήμονες σχετικά με τον νανο-πλανήτη εφαρμόζονται για την επίλυση πρακτικών προβλημάτων (π.χ. αποδέσμευση φαρμάκων) και για την εκπλήρωση κοινωνικών στόχων (π.χ. ανανεώσιμη ενέργεια). Καταβάλλονται επίσης προσπάθειες για την πρόληψη νέων κινδύνων που προκύπτουν από τις νανοτεχνολογίες (π.χ. κυβερνητικοί κανονισμοί) (Stevens et al., 2009).



## 1.2-Το φαινόμενο της υπέρ-υδροφοβικότητας στην κλίμακα του νάνο

Η υπέρ-υδροφοβικότητα άρχισε να μελετάται από τα μέσα της δεκαετίας του 1930 (Carre & Mittal, 2009). Στη δεκαετία του 1990, οι βιολόγοι και οι επιστήμονες των υλικών, άρχισαν να μελετούν τις φυσικές υπέρ-υδροφοβικές επιφάνειες (Bhushan, 2012). Πιθανές εφαρμογές, όπως για παράδειγμα υπέρ-υδρόφοβα υφάσματα που κάνουν τα ενδύματα ανθεκτικά στις καιρικές συνθήκες, αύξησαν το ενδιαφέρον για τη μελέτη της υπέρ-υδροφοβικότητας (Carre & Mittal, 2009).

Κάποια παραδείγματα υπέρ-υδροφοβικότητας από τη φύση, δείχνουν ότι κάποια φύλλα, όπως του Λωτού, απωθούν το νερό. Τέτοιες επιφάνειες είναι γνωστές σαν υπέρ-υδρόφοβες επιφάνειες και αυτοκαθαριζόμενες, εξαιτίας της ιεραρχικής δομής (μίκρο-νάνο προεξοχές) και της ύπαρξης υδρόφοβης επίστρωσης κεριού. Οι σταγόνες του νερού σε τέτοιες επιφάνειες, βρίσκονται στην κορυφή των νανοδομών, με τον αέρα να γεμίζει τις “κοιλιάδες” της δομής κάτω από τη σταγόνα (Bhushan, 2012).



Εικόνα 2: Σταγόνες νερού σε υπέρ-υδρόφοβες επιφάνειες, (a) μεμβράνη χρυσού, (b) δισκίο Si (c) λεπτό ύφασμα Kimwipe® (d) βαμβάκι (Carre & Mittal, 2009: σελ 10)

### 1.2.1 – Διαβροχή (Wetting)

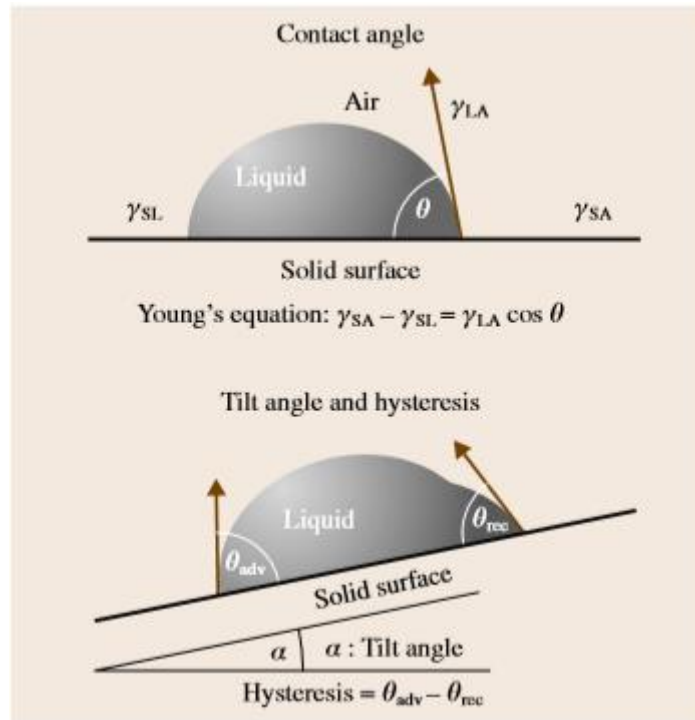
Η διαβροχή είναι η θεμελιώδης αλληλεπίδραση των υγρών με στερεές – αέριες διεπιφάνειες. Περιγράφει το πως ένα υγρό έρχεται σε επαφή με μία στερεή

επιφάνεια. Υπάρχουν περιπτώσεις όπου η διαβροχή μιας επιφάνειας είναι σημαντική (πχ βάψιμο τοίχων, εκτύπωση κειμένων) και άλλες όπου η ελαχιστοποίηση της διαβροχής είναι αυτή που χρειάζεται (πχ παρμπρίζ αυτοκινήτων – ώστε να μην μειώνεται η ορατότητα από τις σταγόνες που μένουν και εξατμίζονται αφήνοντας σημάδια, κίνηση σκαφών – ώστε να μην χρειάζεται επιπλέον ενέργεια λόγω της δύναμης τριβής που αναπτύσσεται στις διεπιφάνειες) (Bhushan, 2010).

Η σημαντικότερη παράμετρος που χαρακτηρίζει τη διαβροχή είναι η στατική γωνία επαφής (static contact angle) που ορίζεται ως η γωνία που σχηματίζεται μεταξύ υγρού και στερεού. Η γωνία επαφής εξαρτάται από τις διεπιφανειακές ενέργειες της διεπαφής στερεού-υγρού, στερεού-αέρα και υγρού-αέρα, από την τραχύτητα της επιφάνειας καθώς και από τον τρόπο προετοιμασίας και τον καθαρισμό της επιφάνειας (Nosonovsky & Rohatgi, 2012).

Η γωνία επαφής (Contact Angle – CA), είναι αυτή που διαχωρίζει αν μία σταγόνα που πέφτει πάνω σε μία επιφάνεια θα τη διαβρέξει περισσότερο ή λιγότερο. Μία μεγάλη γωνία επαφής περιγράφει επιφάνειες όπου η σταγόνα του νερού σχηματίζει σφαιρικό σχήμα. Σ' αυτήν την περίπτωση η επαφή της σταγόνας με την επιφάνεια είναι πολύ μικρή και συνεπώς και η διαβροχή της επιφάνειας είναι πολύ μικρή. Αντίθετα, όταν η γωνία επαφής είναι μικρή τότε υπάρχει μεγάλη επαφή σταγόνας – επιφάνειας και μεγάλη διαβροχή της επιφάνειας.

Η γωνία επαφής (CA) εξαρτάται από την επιφανειακή τάση (μοριακές δυνάμεις) μεταξύ του υγρού, του στερεού και του αέρα που τα περιβάλλει (Bhushan, 2010).



**Εικόνα 3: Γωνία επαφής (Contact Angle), Γωνία κλίσης (Tilt Angle), Υστέρηση γωνίας επαφής (Contact Angle Hysteresis) (Bhushan, 2010:σελ 1421)**

Καθώς η επιφάνεια βρίσκεται σε κλίση (γωνία κλίσης – Tilt Angle TA), παρατηρούμε ότι η γωνία επαφής στο εμπρόσθιο μέρος της σταγόνας (advancing contact angle, CA<sub>adv</sub>) είναι μεγαλύτερη από εκείνη στο πίσω μέρος της σταγόνας (receding contact angle, CA<sub>rec</sub>), με αποτέλεσμα την εμφάνιση υστέρησης στη γωνίας επαφής (contact angle hysteresis, CAH), η οποία ορίζεται ως η διαφορά μεταξύ των δυο γωνιών επαφής. Η υστέρηση είναι υπεύθυνη για την προσκόλληση των υγρών σε μία επιφάνεια.

$$CAH = CA_{adv} - CA_{rec}$$

Για ένα σταγονίδιο που κινείται CA<sub>adv</sub>>CA<sub>rec</sub>, ωστόσο αν το σταγονίδιο κυλά με μικρή αντίσταση, η υστέρηση της γωνίας επαφής (CAH) είναι μικρή.

Μία σταγόνα αρχίζει να κινείται πάνω σε μία επιφάνεια όταν είναι κεκλιμένη σε μία συγκεκριμένη γωνία. Αυτή είναι η γωνία κλίσης (Tilt Angle – TA). Μία χαμηλή γωνία κλίσης (TA<10°), είναι χαρακτηριστική των υπέρ-υδρόφοβων και αυτοκαθαριζόμενων επιφανειών (Bhushan, 2010).

Οι υπέρ-υδροφοβικές επιφάνειες παρουσιάζουν γωνία επαφής CA>150° και γωνία κλίσης (TA<10°). Επίσης, έχουν χαμηλή επιφανειακή ενέργεια και παρουσιάζουν τραχύτητα στην επιφάνειά τους. Η πιο απλή μέθοδος για να χαρακτηριστεί μία

επιφάνεια ως υπέρ-υδρόφοβη είναι παρατηρώντας τη μορφή της σταγόνας με το μάτι (Li, Huang, Chen, & Lai, 2017).

Σύμφωνα με το βιβλίο του Bhushan (2010), από τη μέτρηση της γωνίας επαφής (CA), προκύπτουν τέσσερις κατηγορίες όσον αφορά την υδροφοβικότητα των επιφανειών:

Μεγάλη διαβροχή (σταγόνα που απλώνεται)

- $CA < 10^\circ$  – υπέρ-υδρόφιλη επιφάνεια (μεγάλη διαβροχή και κάλυψη μεγαλύτερης περιοχής της επιφάνειας)
- $10^\circ \leq CA < 90^\circ$  – υδρόφιλη επιφάνεια

Μικρή διαβροχή (σφαιρικό και ημισφαιρικό σχήμα σταγόνας)

- $90^\circ \leq CA < 150^\circ$  – υδρόφοβη επιφάνεια
- $CA \geq 150^\circ$  – υπέρ-υδρόφοβη επιφάνεια (και αν παρουσιάζουν χαμηλή υστέρηση γωνίας επαφής (CAH) ή χαμηλή γωνία κλίσης (TA) τότε είναι υπερυδρόφοβες και έχουν ιδιότητες αυτοκαθαρισμού)

Έχει προταθεί ότι η γωνία επαφής  $CA = 65^\circ$  είναι πιο κατάλληλη για τη διάκριση υδρόφοβων – υδρόφιλων επιφανειών, ωστόσο έχει καθιερωθεί η γωνία επαφής  $CA = 90^\circ$  γι' αυτό το διαχωρισμό (Webb, Crawford, & Ivanova, 2014).

Ένα άλλο σημαντικό φαινόμενο που σχετίζεται με τη συμπεριφορά διαβροχής, είναι η αναπήδηση (bouncing) των σταγόνων. Όταν η σταγόνα θα χτυπήσει την επιφάνεια, μπορεί να αναπηδήσει (bounce), να εξαπλωθεί (spread) ή να κολλήσει (stick) (υπέρ-υδροφοβικές επιφάνειες πρέπει να διατηρούν την ικανότητά τους να απωθούν τα διεισδυτικά σωματίδια υπό δυναμικές συνθήκες) (Bhushan, 2010).

### 1.2.2 – Η εξίσωση του Young – Λεία/Ιδανική επιφάνεια

Πριν από περίπου δύο αιώνες (1805) περιγράφηκε από τον Thomas Young η έννοια της διαβροχής (wetting) για πρώτη φορά. Η διαβροχή μίας στερεής επιφάνειας με υγρό μπορεί να υπολογιστεί μέσα από την επαφόμενη γωνία στο σημείο διεπαφής στερεού-υγρού-αέρα. Αυτή η γωνία επαφής  $\theta$ , ορίζεται ως γωνία του Young ή στατική γωνία επαφής. Προκύπτει από τη μηχανική ισορροπία μεταξύ των τριών επιφανειακών τάσεων [της επιφανειακής τάσης του υγρού ( $\gamma_{LV}$ ), της επιφανειακής τάσης του στερεού ( $\gamma_{SV}$ ) και της διεπιφανειακής τάσης υγρού-στερεού ( $\gamma_{SL}$ )] :

$$\gamma_{SV} = \gamma_{LV} \cos \theta + \gamma_{SL}$$

Όταν η γωνία επαφής  $\theta$  είναι κοντά στις  $0^\circ$  υπάρχει πλήρης διαβροχή της επιφάνειας και η σταγόνα απλώνεται, ενώ όσο η  $\theta$  πλησιάζει τις  $180^\circ$  μειώνεται η διαβροχή και η σταγόνα αποκτά σφαιρικό ή ημισφαιρικό σχήμα. Παρατηρείται ότι όσο  $\theta \neq 180^\circ$  η επιφάνεια διαβρέχεται, έτσι η μερική διαβροχή παρατηρείται στις περισσότερες περιπτώσεις. Ακόμη φαίνεται ότι για τον Young η γωνία επαφής προκύπτει σαν αποτέλεσμα μηχανικής ισορροπίας στη γραμμή επαφής των τριών φάσεων και όχι θερμοδυναμικής ισορροπίας (Law & Zhao, 2016).

### 1.2.3 – Τα δύο κλασσικά μοντέλα διαβροχής – Τραχιιά επιφάνεια

Σύμφωνα με τους Carre & Mittal (2009), από τη δεκαετία του 1930 και 1940, έχει παρατηρηθεί ότι η υδρόφοβη ιδιότητα των υλικών μπορεί να ενισχυθεί μέσω της τραχύτητας της επιφάνειας. Δύο είναι τα βασικά μοντέλα για τη μελέτη της διαβροχής σε τραχιές επιφάνειες, το μοντέλο του Wenzel και το μοντέλο των Cassie – Baxter .

Το πρώτο μοντέλο για τη διαβροχή μιας τραχειάς επιφάνειας περιγράφηκε από τον Wenzel. Σύμφωνα με το οποίο, αν ένα υγρό διαβρέχει μία επιφάνεια η διαβροχή θα ενισχυθεί όταν η επιφάνεια γίνει τραχιιά. Παρόμοια αν μία επιφάνεια παρουσιάζει αντίσταση στη διαβροχή, αυτή η αντίσταση θα ενισχυθεί όταν η επιφάνεια γίνει τραχιιά. Και τα δύο φαινόμενα αποδίδονται στην αύξηση της επιφάνειας επαφής καθώς αυξάνεται η τραχύτητά της. Η τραχιιά επιφάνεια σ' αυτό το μοντέλο διαβρέχεται πλήρως και η γωνία επαφής δίνεται από την εξίσωση:

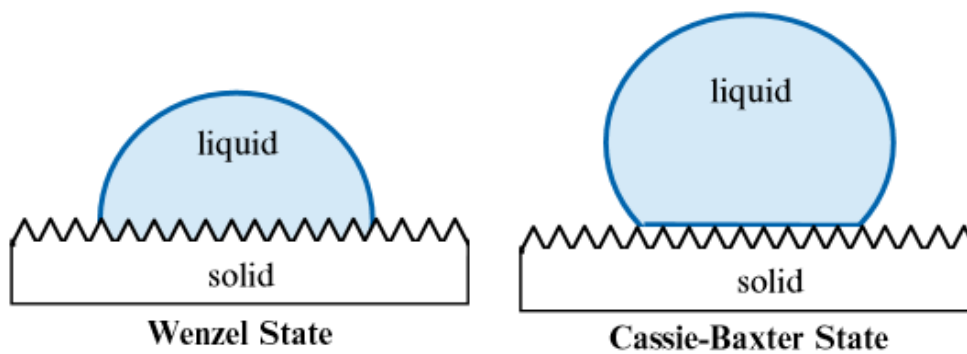
$$\cos\theta_w = r\cos\theta$$

όπου  $\theta_w$  είναι η γωνία Wenzel,  $\theta$  η γωνία επαφής σε μία λεία επιφάνεια του ίδιου υλικού και  $r$  ο συντελεστής τραχύτητας της επιφάνειας.

$$r = \text{πραγματική επιφάνεια/προβαλλόμενη επιφάνεια}$$

Και ισχύει  $r > 1$  για κάθε τραχιιά επιφάνεια (Law&Zhao, 2016).

Η εξίσωση του Wenzel εκφράζει την ενίσχυση της διαβροχής που προκαλείται από την τραχύτητα και εφαρμόζεται στην γωνία επαφής (CA) σε μία σταγόνα που βρίσκεται σε ισορροπία πάνω στην επιφάνεια. (Bhushan, 2010)



Εικόνα 4: Μοντέλα Wenzel και Cassie-Baxter (Law&Zhao, 2016: σελ 59)

Το δεύτερο μοντέλο περιγράφηκε από τους Cassie και Baxter το 1944. Σ' αυτό το μοντέλο επεκτάθηκαν στην ανάλυση της διαβροχής πορωδών επιφανειών, όπως αυτές που συναντάμε στα κλωστοϋφαντουργικά προϊόντα, στα ρούχα και στα φτερά των πουλιών. Καθώς ένα υγρό διαβρέχει μία τέτοια, πορώδη επιφάνεια, σχηματίζονται θύλακες αέρα (air rockets) και προκύπτει μία σύνθετη διεπιφάνεια μεταξύ υγρού και επιφάνειας. Η γωνία επαφής καθορίζεται από την ενέργεια της περιοχής κάτω από τη σταγόνα.

Η γωνία επαφής σ' αυτήν την περίπτωση δίνεται από τη σχέση:

$$\cos\theta_{APP} = f_1\cos\theta_1 + f_2\cos\theta_2$$

όπου  $f_1$  και  $f_2$  το κλάσμα της στερεής και της αέριας περιοχής της διεπιφάνειας (στερεού - αέρα) και  $\theta_1$ ,  $\theta_2$  οι αντίστοιχες γωνίες επαφής του υγρού με την κάθε φάση (στερεή - αέρια)

Για το δεύτερο συστατικό που είναι ο αέρας ( $f_2$ ) ισχύει  $\cos 180^\circ = -1$  και έτσι προκύπτει η διάσημη εξίσωση Cassie - Baxter :

$$\cos\theta_{CB} = f\cos\theta + (f - 1)$$

όπου  $\theta_{CB}$  είναι η γωνία Cassie - Baxter,  $f$  είναι το κλάσμα της στερεάς περιοχής και  $\theta$  η γωνία επαφής της λείας επιφάνειας του ίδιου υλικού (Law & Zhao, 2016).

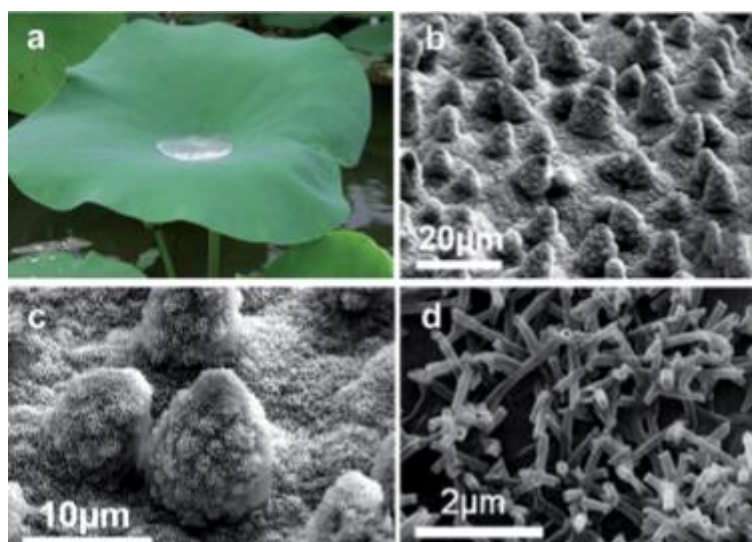
#### 1.2.4 - Λωτός και Τριαντάφυλλο (Lotus - leaf & Rose - petal)

Για μία τραχιά επιφάνεια και ένα υγρό στην κατάσταση Cassie - Baxter, η σταγόνα χαρακτηρίζεται από μεγάλη γωνία επαφής (contact angle) και μικρή γωνία κύλισης (sliding angle). Για το νερό η επιφάνεια αυτή χαρακτηρίζεται ως υπέρ-υδρόφοβη. Μία τέτοια ιδιαίτερα διαδεδομένη επιφάνεια αποτελεί το φύλλο του Λωτού, το

οποίο παρουσιάζει γωνία επαφής με το νερό  $162^\circ$  και γωνία κύλισης  $4^\circ$ . Καθώς η σταγόνα του νερού κυλάει, τα σωματίδια σκόνης και βρωμιάς προσκολλώνται στην σταγόνα με αποτέλεσμα τον αυτοκαθαρισμό του φύλλου (Law & Zhao, 2016).

Το φύλλο του λωτού παρουσιάζει σημαντική υπέρ-υδροφοβικότητα και εξαιρετικά χαμηλή υστέρηση γωνίας επαφής-CAH ( $CA=164^\circ$  και  $CAH=3^\circ$  αντίστοιχα). Φαίνεται πως το κερί που καλύπτει την επιφάνεια του φύλλου κάνει την επιφάνεια υδρόφοβη και η ιεραρχική δομή την καθιστά υπερ-υδρόφοβη με χαμηλή υστέρηση γωνίας επαφής (CAH). Σαν αποτέλεσμα των παραπάνω, τα σταγονίδια νερού που πέφτουν στα φύλλα αφαιρούν τυχόν μολυσματικά σωματίδια από την επιφάνεια των φύλλων καθώς κυλούν πάνω τους, οδηγώντας σε αυτοκαθαρισμό (Bhushan, 2012).

Ο Λωτός είναι γνωστός σαν σύμβολο της αγνότητας στον ασιατικό πολιτισμό, για πάνω από 2000 χρόνια, χάρη στην ικανότητά του να παραμένει καθάρος. Στην επιφάνεια του φύλλου του Λωτού η συνάφεια (adhesion) μεταξύ της σταγόνας νερού και των σωματιδίων της σκόνης είναι μεγαλύτερη από τη συνάφεια μεταξύ των σωματιδίων της σκόνης και της επιφάνειας. Για το λόγο αυτό οι σφαιρικές σταγόνες νερού παρασύρουν τα σωματίδια σκόνης καθώς κυλούν πάνω στην επιφάνεια του φύλλου. Αυτή η μεγάλη απώθηση του νερού και ο αυτοκαθαρισμός του φύλλου του Λωτού είναι γνωστά στη βιβλιογραφία ως “Το φαινόμενο του Λωτού” (Latthe, Terashima, Nakata, & Fujishima, 2014).



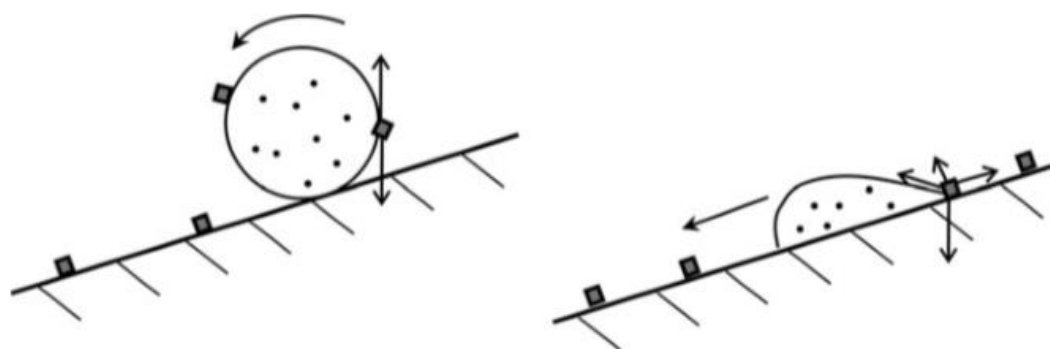
**Εικόνα 5: Το φύλλο του Λωτού σε διάφορες μεγεθύνσεις (Li, Huang, Chen & Lai, 2017)**

Οι ιδιότητες διαβροχής των υπέρ-υδρόφοβων επιφανειών στη φύση επηρεάζονται από τις χημικές συνθέσεις και τις επιφανειακές τοπογραφίες (Wang, Guo, & Liu, 2014).

Σημαντικό ρόλο στις παραπάνω ιδιότητες της επιφάνειας (μεγάλη γωνία επαφής, χαμηλή υστέρηση γωνίας επαφής, αυτοκαθαρισμός, κτλ) φαίνεται να έχει η ιεραρχική δομή της επιφάνειας με μικρο και νάνο προεξοχές. Η άποψη αυτή ενισχύθηκε όταν διαπιστώθηκε ότι το υλικό του κεριού στα φύλλα του Λωτού είναι μέτρια υδρόφιλο με γωνία επαφής  $74^\circ$  και έτσι η ιεραρχική δομή της επιφάνειας φαίνεται να είναι υπεύθυνη για την υπέρ-υδροφοβικότητά τους (Law & Zhao, 2016).

Το 1997, δύο Γερμανοί βοτανολόγοι, οι Barthlott και Neinhuis, χρησιμοποιώντας το ηλεκτρονικό μικροσκόπιο σάρωσης (Scanning Electron Microscope – SEM) αποκάλυψαν για πρώτη φορά τη μοναδική διπλής κλίμακας μικρο-νάνο δομή των φύλλων του Λωτού. Αυτός ο συνδυασμός της διπλής κλίμακας τραχύτητας και του χαμηλής ενέργειας επιφανειακού κεριού (wax), επιτρέπει στον αέρα να παγιδευτεί κάτω από τη σταγόνα οδηγώντας στην υπέρ-υδροφοβικότητα και τον αυτοκαθαρισμό του φύλλου. Σαν αποτέλεσμα η διπλή αυτή μικρο-νάνο δομή, προτείνεται για την ανάπτυξη υπέρ-υδροφοβικών επιφανειών (Latthe, Terashima, Nakata, & Fujishima, 2014).

Χρησιμοποιώντας σαν έμπνευση το φαινόμενο του Λωτού που εμφανίζεται στη φύση και της ιδιότητας του αυτοκαθαρισμού πολλές εφαρμογές κατασκευάστηκαν αξιοποιώντας τις υπέρ-υδρόφοβες επιφάνειες. Όπως για παράδειγμα τα αυτοκαθαριζόμενα παράθυρα και τα κλωστοϋφαντουργικά προϊόντα, ανθεκτικά ρούχα και οθόνες κινητών, χρήσεις σε οροφές και σε αεροπλάνα, επιστρώσεις για ανθεκτικές στη διαβροχή γέφυρες και άλλες μεταλλικές κατασκευές, στα πλοία, κτλ (Law & Zhao, 2016).



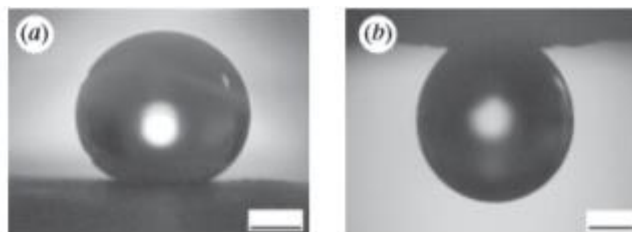
**Εικόνα 6: Αυτοκαθαρισμός επιφάνειας Λωτού (Nosonovsky & Rohatgi, 2012: σελ 324)**

Το μοντέλο του πετάλου (rose-petal), έχει να κάνει με την ισχυρή προσκόλληση της σταγόνας στην επιφάνεια, ενώ το μοντέλο του λωτού (lotus-leaf), με την κύλιση της σταγόνας στην επιφάνεια και τον αυτοκαθαρισμό της (Busa et al., 2017).

Η επιφάνεια του τριαντάφυλλου (red rose petal) εμφανίζει υπέρ-υδροφοβικότητα με υψηλή συνάφεια (adhesion). Η σταγόνα νερού μένει προσκολλημένη ακόμη και



όταν το πέταλο είναι αναποδογυρισμένο. Τέτοιες επιφάνειες έχουν ποικίλες εφαρμογές όπως για παράδειγμα στη φασματοσκοπία (single molecule spectroscopy). Στο φαινόμενο του πετάλου η σταγόνα εισχωρεί στη μικροδομή και μόνο μερικώς στη νανοδομή (Ebert & Bhushan, 2012).



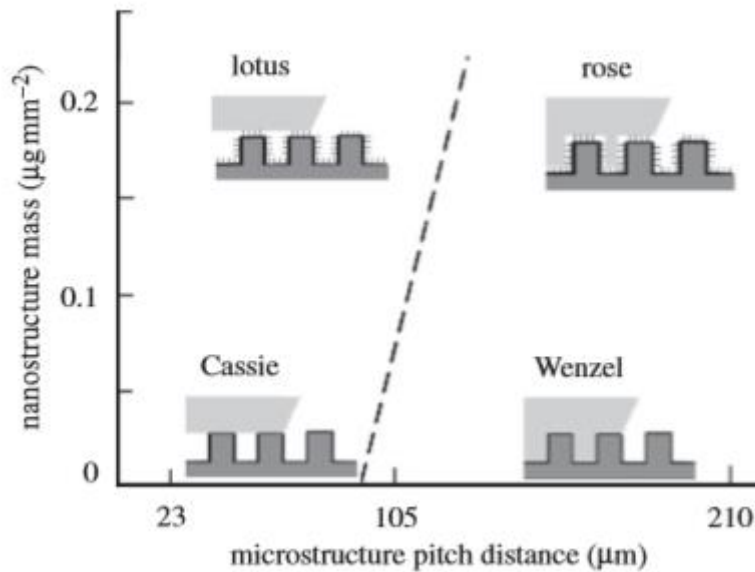
**Εικόνα 7: Πέταλο σε γωνία κλίσης (a) 0° και (b) 180° (Bhushan & Nosonovsky, 2010)**

Η προσρόφηση του νερού μερικά νανόμετρα μέσα στα κενά, ενισχύει τις συγκολλητικές δυνάμεις (strong adhesive forces) και η σταγόνα παρουσιάζει υψηλή γωνία επαφής (contact angle) και υψηλή υστέρηση της γωνίας επαφής (contact angle hysteresis) [rose-petal : Γωνία επαφής= $167\pm 2^\circ$  και Υστέρηση γωνίας επαφής= $83\pm 2^\circ$ ]. Αντίθετα, όταν ο αέρας είναι αυτός που γεμίζει τη μικρο-νάνο δομή της επιφάνειας, η σταγόνα βρίσκεται “στον αέρα” και ακόμα και σε μικρές γωνίες κύλισης ( $<10^\circ$ ) παρουσιάζει ισχυρή κύλιση και αυτοκαθαρισμό της επιφάνειας [lotus-leaf : Γωνία επαφής= $165\pm 3^\circ$  και Υστέρηση γωνίας επαφής= $8\pm 2^\circ$ ] (Busa et al., 2017).

Οι Bhushan και Nosonovsky (2010) μελέτησαν διαφορετικά είδη ροδοπέταλων που παρουσιάζουν διαφορετικά καθεστώτα διαβροχής ανάλογα με τη διείδυση του νερού στις μικρο-νάνο δομές. Για παράδειγμα το Rosa cv Bairage παρουσίασε μεγάλη γωνία επαφής, υψηλή υστέρηση γωνίας επαφής και υψηλή συνάφεια. Ενώ το Rosa cv Showtime παρουσίασε μεγάλη γωνία επαφής, χαμηλή υστέρηση γωνίας επαφής και χαμηλή συνάφεια.

Τα ροδοπέταλα παρουσιάζουν διαφορετικές ιεραρχικά οργανωμένες επιφάνειες με μικρο-νάνο δομές και μπορούν να παρουσιάσουν υψηλή και χαμηλή συνάφεια με το νερό. Η απόσταση μεταξύ του βήματος και του ύψους των μικροδομών καθορίζει το καθεστώς διαβροχής, καθώς ελέγχει τη διείδυση του νερού στη μικροδομή. Η μικροδομή ελέγχει την υστέρηση της γωνίας επαφής ενώ η νανοδομή παρέχει υψηλή γωνία επαφής. Έτσι ένα ροδοπέταλο μπορεί να παρουσιάσει ιδιότητες λωτού (υψηλή γωνία επαφής, χαμηλή υστέρηση γωνίας επαφής) ή ιδιότητες πετάλου (υψηλή γωνία επαφής, υψηλή υστέρηση γωνίας επαφής).

### The rose petal effect



Εικόνα8: The rose petal effect (Bhushan & Nosonovsky, 2010)

Σαν ψευδό – υπερδόφοβοι οργανισμοί χαρακτηρίζονται για παράδειγμα τα ροδοπέταλα και τα πόδια της σαύρας gecko, οι οποίοι είναι γενικά αποδεκτοί σαν υπερυδροφόβοι λόγω της μεγάλης γωνίας επαφής ( $CA > 150^\circ$ ) που παρουσιάζουν, ωστόσο εμφανίζουν ενδιαφέρουσες ιδιότητες που δεν βρίσκονται συνήθως μεταξύ των υπερυδροφόβων υλικών. Για παράδειγμα λόγω της ιεραρχικής δομής της επιφάνειας των ροδοπέταλων παρά τις μεγάλες γωνίες επαφής οι σταγόνες νερού προσκολλώνται ισχυρά. Αντίστοιχα αυτό συμβαίνει και στα πόδια της σαύρας gecko η οποία εμφανίζει επιπλέον την αξιοσημείωτη ικανότητα να ανεβαίνει στα περισσότερα είδη επιφανειών. Αύτη η υψηλή συνάφεια εμφανίζεται λόγω της αύξησης της επιφάνειας επαφής υγρού – στερεού. Το καθεστώς διαβροχής είναι μία ενδιάμεση κατάσταση ανάμεσα στα Wenzel και Cassie-Baxter και ονομάζεται Cassie-impregnating state. Συγκριτικά με τα φύλλα του Λωτού τα ροδοπέταλα καλύπτονται με ελαφρώς ευρύτερες θηλές (περίπου  $15\mu\text{m}$ ) που βρίσκονται σε μεγαλύτερη απόσταση μεταξύ τους. Έτσι το νερό είναι πιο εύκολο να διεισδύσει στην επιφάνεια του ροδοπέταλου (Webb, Crawford, & Ivanova, 2014).

## 1.3 Μεγάλες Ιδέες

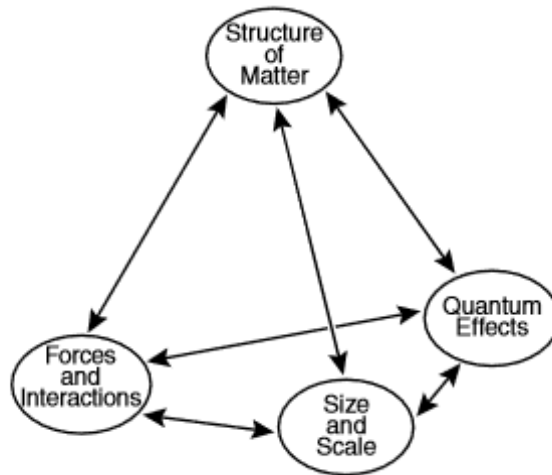
Οι Μεγάλες Ιδέες (MI) είναι οι έννοιες που θεωρούνται κεντρικές/θεμελιώδης για έναν κλάδο. Είναι πιθανό κάποιες MI που θεωρούνται κεντρικές για έναν κλάδο πχ της βιολογίας να μην θεωρούνται κεντρικές για κάποιον άλλον κλάδο πχ της χημείας. Ωστόσο κάποιες MI έχουν διεπιστημονικό χαρακτήρα και μπορούν να εξηγήσουν ένα ευρύ φάσμα φαινομένων τόσο εντός όσο και μεταξύ των κλάδων. Είναι σημαντικές γιατί παρέχουν ένα πλαίσιο για τη μακροπρόθεσμη ανάπτυξη της εννοιολογικής κατανόησης από μαθητές και καθηγητές. Στη συγκεκριμένη εργασία θα εξεταστούν οι MI της N-ET και η σύνδεσή τους με την εκπαιδευτική διαδικασία.

Οι MI της N-ET σχετίζονται όχι μόνο με τη νανοεπιστήμη-νανοτεχνολογία, αλλά με την επιστήμη γενικότερα. Αυτό συμβαίνει επειδή οι MI της N-ET περιλαμβάνουν πολλές ιδέες που είναι κρίσιμες για τον γενικό επιστημονικό γραμματισμό (πχ δομή της ύλης, μέγεθος και κλίμακα, μοντέλα και προσομοιώσεις). Μέσα από τον διεπιστημονικό χαρακτήρα της N-ET προβάλλεται μία ευκαιρία ώστε να αναδιοργανωθεί το επιστημονικό περιεχόμενο και ο τρόπος που αυτό διδάσκεται σύμφωνα με το πρόγραμμα σπουδών. Με αυτόν τον τρόπο θα μπορούσαν ίσως να ξεπεραστούν τα όρια μεταξύ των επιστημονικών κλάδων και να αντιμετωπιστούν οι ιδέες με διεπιστημονικό τρόπο, μέσα σε ένα συνεκτικό πρόγραμμα σπουδών.

Οι MI της N-ET είναι οι εξής:

1. Μέγεθος και Κλίμακα
2. Δομή της ύλης
3. Δυνάμεις και αλληλεπιδράσεις
4. Κβαντικά Φαινόμενα
5. Ιδιότητες εξαρτώμενες από το Μέγεθος
6. Αυτό-Οργάνωση
7. Όργανα και Εργαλεία
8. Μοντέλα και Προσομοιώσεις
9. Επιστήμη-Τεχνολογία-Κοινωνία

Οι πρώτες τέσσερις MI αποτελούν το βασικό επιστημονικό περιεχόμενο και είναι αλληλένδετες. (Stevens et al., 2009)



Εικόνα 9: Οι σχέσεις μεταξύ των Μεγάλων Ιδεών της N-ET (Stevens et al., 2009: σελ 5)

**MI1 «Μέγεθος και Κλίμακα»:** Παράγοντες που σχετίζονται με το μέγεθος και την γεωμετρία (π.χ. μέγεθος, κλίμακα, σχήμα, διαστάσεις) βοηθούν να περιγραφεί το υλικό και να προβλεφθεί η συμπεριφορά τους.

Ενσωματωμένη στην MI1 βρίσκεται η ιδέα: «**Λόγος εμβαδόν επιφάνειας/όγκος (SA/V)**»: Καθώς το μέγεθος ενός αντικειμένου μικραίνει στη νανοκλίμακα, ο λόγος των ατόμων που βρίσκονται στην επιφάνεια σε σχέση με τα συνολικά άτομα αυξάνεται σημαντικά, με αποτέλεσμα να παρουσιάζονται ασυνήθιστες συμπεριφορές στο αντικείμενο. Ο διπλασιασμός του μεγέθους ενός αντικειμένου επηρεάζει δυσανάλογα την επιφάνεια και τον όγκο. Για παράδειγμα, ο διπλασιασμός του μήκους των πλευρών ενός κύβου αυξάνει τον όγκο οκτώ φορές, αλλά η επιφάνεια του κύβου αυξάνεται μόνο τέσσερις φορές. Άρα αν μία ιδιότητα εξαρτάται από τον όγκο (πχ θερμική χωρητικότητα) τότε αυτή η ιδιότητα θα αλλάξει πολύ γρηγορότερα από τις ιδιότητες που εξαρτώνται από την επιφάνεια. Το σχήμα επίσης επηρεάζει την αναλογία  $S/V$ , δίνοντας στο υλικό διαφορετικές ιδιότητες (πχ κύβος και ορθογώνιο, ίδιο  $V$  διαφορετικό  $S$ ). Συμπερασματικά λοιπόν, το μήκος, η επιφάνεια και ο όγκος αλλάζουν δυσανάλογα με τις αλλαγές στο μέγεθος. Αυτές οι διαφορές έχουν επιπτώσεις για τις ιδιότητες, τη συμπεριφορά και τη λειτουργία της ύλης σε όλες τις κλίμακες αλλά περισσότερο στη νανοκλίμακα.

Για την κατανόηση της MI1 είναι σημαντικά τα μαθηματικά. Επειδή οι μαθητές θα δυσκολευτούν να συνδέσουν τη νανοκλίμακα με την εμπειρία τους από την καθημερινή ζωή, είναι πιθανόν αδύνατη η κατανόησή της χωρίς τη χρήση εννοιολογικών εργαλείων (πχ μονάδες μέτρησης, επιφάνεια, όγκος). Οι έννοιες που σχετίζονται με το μέγεθος και την κλίμακα συνθέτουν ένα σημαντικό μέρος του γνωστικού πλαισίου για την κατανόηση του νανόκοσμου.

**MI2 «Δομή της ύλης»:** Τα υλικά αποτελούνται από δομικά στοιχεία που συχνά αποτελούνται από ιεραρχικές δομές (άτομα, μόρια, δομές νανοκλίμακας). Το είδος αλλά και η διάταξη των ατόμων παίζει σημαντικό ρόλο στις ιδιότητες του υλικού.

Σημαντικές επιπτώσεις στη νανοκλίμακα έχει η αρχή που λέει ότι τα άτομα που συνθέτουν όλες τις ουσίες είναι σε συνεχή τυχαία κίνηση. Παρατηρείται ότι διαφορετικές δομές στα άτομα προσφέρουν διαφορετικές ιδιότητες στο υλικό, όπως για παράδειγμα συμβαίνει στα άτομα του άνθρακα όταν αυτά συνθέτουν το διαμάντι και τον γραφίτη. Ένα άλλο ωραίο παράδειγμα αποτελεί η πρωτεΐνη, η οποία είναι ένα αντικείμενο νανοκλίμακας. Η πρωτεΐνη αποτελείται από εκατοντάδες αμινοξέα και αρκεί ένα αμινοξύ (δομικό στοιχείο), ώστε να επηρεάσει τη δομή και τη λειτουργία ολόκληρης της πρωτεΐνης. Προκειμένου λοιπόν οι μαθητές να κατανοήσουν τις ενδιαφέρουσες ιδιότητες της ύλης στην νανοκλίμακα χρειάζεται να αναπτύξουν μια βαθιά κατανόηση της δομής και της λειτουργίας των δομικών στοιχείων του υλικού.

**MI3 «Δυνάμεις και αλληλεπιδράσεις»:** Οι θεμελιώδεις δυνάμεις που περιγράφουν όλες τις αλληλεπιδράσεις είναι τέσσερις: η βαρυτική, η ηλεκτρομαγνητική, η πυρηνική (ή ισχυρή) και οι ασθενείς δυνάμεις. Στην μακροσκοπική κλίμακα κυριαρχεί η βαρυτική δύναμη, ενώ στις νάνο και ατομικές κλίμακες οι δυνάμεις που προέρχονται από ηλεκτρικά φορτία (υποσύνολο ηλεκτρομαγνητικής δύναμης).

Οι ηλεκτρικές δυνάμεις που εμπλέκονται στις αλληλεπιδράσεις στη νάνο, μοριακή και ατομική κλίμακα είναι σημαντικές στο σχεδιασμό, την κατασκευή και το χειρισμό υλικών νανοκλίμακας. Για το λόγο αυτό είναι σημαντική η κατανόησή τους για την πρόβλεψη της λειτουργίας και της συμπεριφοράς των φυσικών και κατασκευασμένων υλικών νανοκλίμακας.

**MI4 «Κβαντικά Φαινόμενα»:** Καθώς πλησιάζουμε στην νανοκλίμακα τα κβαντικά φαινόμενα γίνονται πιο σημαντικά και η κλασική μηχανική φαίνεται να μην είναι αρκετή για να περιγράψει και να προβλέψει την συμπεριφορά της ύλης. Στην περίπτωση αυτή είναι που χρειάζεται να εφαρμοστεί η κβαντομηχανική για να εξηγήσουμε τις νέες ιδιότητες των υλικών που εκμεταλλεύεται η νανοτεχνολογία.

Η κβαντική μηχανική επίσης είναι χρήσιμη ώστε να εξηγήσει τη λειτουργία μερικών από τα εργαλεία που έχουν αναπτυχθεί για να βοηθήσουν στη διερεύνηση του νανόκοσμου.

**MI5 «Ιδιότητες εξαρτώμενες από το μέγεθος»:** Είναι δυνατόν οι ιδιότητες της ύλης να αλλάξουν σε σχέση με την κλίμακα. Συγκεκριμένα στη νανοκλίμακα ένα υλικό εμφανίζει συχνά απρόσμενες ιδιότητες που οδηγούν σε νέες λειτουργίες (functionality) (Stevens et al., 2009).

Ένα χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελούν τα νανοσωματίδια χρυσού τα οποία παρουσιάζουν ξεχωριστές οπτικές ιδιότητες. Νανοσωματίδια με διάμετρο 10 έως 30nm αιωρούμενα σε διάλυμα θα προκαλέσουν κόκκινο χρώμα. Νανοσωματίδια με διάμετρο 2 έως 5 nm θα δώσουν ένα κίτρινο διάλυμα, ενώ καθώς η διάμετρος αυξάνεται στα 100 nm το διάλυμα που θα προκύψει θα έχει ένα ιώδες χρώμα (Haiss, Thanh, Aveyard, & Fernig, 2007).

Ένα σημαντικό στοιχείο της νανοτεχνολογίας είναι η εκμετάλλευση αυτών των νέων ιδιοτήτων της ύλης που συμβαίνουν στην νανοκλίμακα, προσφέροντας ένα ευρύ

φάσμα υλικών νανοτεχνολογίας που χρησιμοποιούνται σε πλήθος τεχνολογιών και προϊόντων. Ένα άλλο παράδειγμα είναι αυτό του αλουμινίου, όπου οι μαγνητικές του ιδιότητες εξαρτώνται από το μέγεθος. Έτσι λοιπόν, στον μακρόκοσμο εμφανίζεται να μην είναι μαγνητικό ενώ στον νανόκοσμο να είναι μαγνητικό.

Ο προσδιορισμός των ιδιοτήτων και των χαρακτηριστικών των υλικών είναι μία από τις θεμελιώδεις έννοιες της επιστήμης. Οι μαθητές από την πρώτη τους επαφή με την επιστήμη αρχίζουν να περιγράφουν τις ιδιότητες των αντικειμένων γύρω τους.

Στην εισαγωγή της N-ET είναι σημαντικό να συζητηθούν οι ιδιότητες της ύλης χρησιμοποιώντας πιο διακριτά (refined) επίπεδα, καθώς οι ιδιότητες αλλάζουν όταν μεταβαίνουμε από τη μία κλίμακα στην άλλη (μάκρο->νάνο).

**MI6 «Αυτό-οργάνωση»:** Σε ειδικές συνθήκες ορισμένα υλικά μπορούν να “οικοδομηθούν”(assemble) αυθόρμητα σε οργανωμένες δομές. Αυτή η διαδικασία παρέχει ένα χρήσιμο μέσο για τον χειρισμό της ύλης στη νανοκλίμακα. Η αυτο-οργάνωση μπορεί να γίνει είτε με την bottom-up είτε με την top-down διαδικασία.

Παρόλο που η αυτο-οργάνωση είναι σημαντική τεχνική για την πρόοδο της νανοτεχνολογίας, δεν πρόκειται για μία νέα διαδικασία, συμβαίνει στη φύση σε κάθε κλίμακα. Για παράδειγμα στην νανοκλίμακα συναντάται η συναρμολόγηση της διπλής κλίμακας DNA, ενώ στην μακροκλίμακα παρατηρείται ο σχηματισμός των νιφάδων χιονιού.

Οι άνθρωποι σταδιακά αποκτούν τις γνώσεις και την τεχνολογία για να χρησιμοποιήσουν την αυτο-οργάνωση για να δημιουργήσουν νέα υλικά και να καταφέρουν να σχεδιάσουν και να κατασκευάσουν υλικά νανοτεχνολογίας.

**MI7 «Εργαλεία και Όργανα»:** Η ανάπτυξη εξειδικευμένων εργαλείων οδήγησε σε νέα επίπεδα κατανόησης της ύλης, βοηθώντας τους επιστήμονες να ανιχνεύουν, να χειρίζονται, να απομονώνουν, να μετρούν, να κατασκευάζουν και να ερευνούν την νανοκλίμακα με πρωτοφανή ακρίβεια.

Ο βαθμός στον οποίο αντιλαμβανόμαστε τον κόσμο είναι περιορισμένος, εν μέρη, από τα διαθέσιμα εργαλεία για να τον διερευνήσουμε. Τα εργαλεία και τα όργανα που είναι διαθέσιμα στους επιστήμονες καθορίζουν τα αντικείμενα στα οποία έχουν πρόσβαση για να παρατηρήσουν και να μετρήσουν.

Το τελευταίο μέρος του 20<sup>ου</sup> αιώνα παρουσιάστηκε μεγάλη πρόοδος στην μικροσκοπία. Το ηλεκτρονικό μικροσκόπιο σάρωσης (SEM) χρησιμοποιεί εστιασμένη δέσμη ηλεκτρονίων αντί για ορατό φως για να σαρώσει ένα δείγμα και έπαιξε σημαντικό ρόλο στην ανάπτυξη κατανόησης του νανόκοσμου. Το μικροσκόπιο ανίχνευσης σάρωσης (SPM) χρησιμοποιείται και αυτό για την έρευνα και την εργασία στον νανόκοσμο, είναι παρόμοιο με το SEM δημιουργεί εικόνες με σάρωση της επιφάνειας του δείγματος αλλά σαρώνει με έναν φυσικό αισθητήρα αντί για δέσμη ηλεκτρονίων.

Τα νέα εργαλεία παρέχουν επίσης τη δυνατότητα χειρισμού και κατασκευής δομών στη νανοκλίμακα.

Μεγάλο μέρος του προγράμματος σπουδών απαιτεί από τους μαθητές να μάθουν για αντικείμενα και φαινόμενα που δεν μπορούν να παρατηρηθούν με γυμνό μάτι (δυνάμεις, ηλεκτρική ενέργεια, κύτταρα, DNA κ.α.). Η χρήση εργαλείων για την παρατήρηση και μέτρηση αντικειμένων που δεν είναι ορατά με γυμνό μάτι μπορεί να διευκολύνει την αντίληψη των μαθητών για τέτοιες αφηρημένες έννοιες.

Η σχέση μεταξύ της ανάπτυξης εργαλείων και της αντιμετώπισης μιας υπόθεσης αποτελεί βασικό μέρος της επιστημονικής διαδικασίας. Από την άλλη το εργαλείο που χρησιμοποιείται για την εξέταση ενός φαινομένου συχνά εξαρτάται από την κλίμακά του. Συνεπώς οι ιδέες για το μέγεθος και κλίμακα και τα εργαλεία και όργανα, μπορούν να συνδέονται εννοιολογικά και να διερευνηθούν παράλληλα στην τάξη.

**ΜΙ8 «Μοντέλα και Προσομοιώσεις»:** Οι επιστήμονες χρησιμοποιούν τα μοντέλα και τις προσομοιώσεις για να τους βοηθήσουν να απεικονίσουν, να εξηγήσουν, να προβλέψουν και να υποθέσουν τις δομές, τις ιδιότητες και τις συμπεριφορές των φαινομένων.

Το εξαιρετικά μικρό μέγεθος και η πολυπλοκότητα των στόχων της νανοκλίμακας, καθιστούν χρήσιμα τα μοντέλα και τις προσομοιώσεις για τη μελέτη και το σχεδιασμό φαινομένων νανοκλίμακας.

Τα μοντέλα είναι εναλλακτικοί τρόποι αντιπροσώπευσης ενός στόχου (πχ φαινόμενο, αντικείμενο, υλικό, σύστημα ή σχέση), μπορούν να είναι φυσικά ή βασισμένα σε υπολογιστή, στατικά ή δυναμικά. Ο τύπος του χρησιμοποιούμενου μοντέλου εξαρτάται τόσο από το σκοπό του όσο και από το στόχο.

Το μοντέλο χρειάζεται να είναι σε θέση να περιγράψει να εξηγήσει ή και να προβλέψει ορισμένες –αλλά όχι απαραίτητα όλες- πτυχές και συμπεριφορές ενός στόχου.

Τα μοντέλα είναι ιδιαίτερα χρήσιμα για την πρόβλεψη και την εργασία με στόχους που είναι διαφορετικά απρόσιτοι (πχ στόχοι εξαιρετικά μικρής ή μεγάλης κλίμακας, διαδικασίες πολύ αργές ή πολύ γρήγορες, επικίνδυνα φαινόμενα ή διαδικασίες, ή εξαιρετικά μεγάλου κόστους).

Στην περίπτωση της N-ET οι στόχοι είναι απροσπέλαστοι λόγω του μεγέθους τους, αλλά ταυτόχρονα συχνά συνεπάγονται πολύπλοκα φαινόμενα.

Τα μοντέλα δεν είναι στατικές οντότητες που παρέχουν πρόσβαση σε μία “σωστή απάντηση” αλλά συνεχώς επαναξιολογούνται σύμφωνα με νέα επιστημονικά στοιχεία, γεγονός που οδηγεί σε αλλαγές καθώς το μοντέλο εξελίσσεται και ενσωματώνονται νέες γνώσεις.

Τα μοντέλα και οι προσομοιώσεις είναι απαραίτητα σε όλους τους τομείς της επιστήμης, βοηθώντας τους ερευνητές να δοκιμάσουν και να κατανοήσουν τόσο τον φυσικό όσο και τον κατασκευασμένο κόσμο σε όλες τις κλίμακες και σε όλη την επιστημονική διαδικασία.

Επίσης κατά τη δημιουργία των διάφορων εφαρμογών η οικοδόμηση ενός μοντέλου ή η προσομοίωση του φαινομένου αποτελεί ένα σημαντικό πρώτο και ενδιάμεσο βήμα.

Οι μαθητές χρειάζεται να χρησιμοποιούν και να χτίζουν μοντέλα για να εξηγήσουν και να κάνουν προβλέψεις για τα φαινόμενα σε όλο το πρόγραμμα σπουδών των φυσικών επιστημών.

**MI9 «Επιστήμη, Τεχνολογία και Κοινωνία»:** Η MI9 είναι διαφορετική από όλες τις άλλες. Περιγράφει τη φύση της επιστήμης και της τεχνολογίας και πως επηρεάζει η κοινωνία και επηρεάζεται από την επιστημονική και τεχνολογική πρόοδο. Η MI9 της επιστήμης, της τεχνολογίας και της κοινωνίας συνδέεται με όλες τις άλλες Μεγάλες Ιδέες της N-ET.

Χρειάζεται να λαμβάνονται συνεχώς αποφάσεις σχετικά με τις τεχνολογίες που πρέπει να χρησιμοποιούνται και πως να τις χρησιμοποιούν ενώ ταυτόχρονα αξιολογείται ποιος θα επωφεληθεί από αυτά (ή όχι) και με ποιους τρόπους.

Ταυτόχρονα, οι τεχνολογίες που δημιουργούν και χρησιμοποιούν οι άνθρωποι επηρεάζουν άλλους ζωντανούς οργανισμούς με περίπλοκο τρόπο, τόσο θετικά όσο και αρνητικά. Η επίλυση ενός προβλήματος είναι δυνατόν να δημιουργήσει νέα προβλήματα με μεγάλες επιπτώσεις που μπορεί να είναι απρόβλεπτες. Είναι σημαντικό να αξιολογούνται και να παρακολουθούνται οι κίνδυνοι και τα οφέλη όλων των νέων τεχνολογιών.

Αν και οι στόχοι και οι υποσχέσεις της N-ET είναι γενικά θετικοί, τα προϊόντα και τα υλικά που προκύπτουν φέρνουν μαζί τους τον κίνδυνο αρνητικών επιπτώσεων. Τα αντικείμενα ναοκλίμακας είναι αρκετά μικρά ώστε να διαπερνούν τα βιολογικά εμπόδια που προστατεύουν τους ζώντες οργανισμούς. Επιπλέον, όπως συμβαίνει με όλα τα νέα υλικά, τα ζητήματα περιβαλλοντικής διαχείρισης αποβλήτων προκύπτουν τόσο από την κατασκευή όσο και από την χρήση των καταναλωτών. Προκύπτει η ανάγκη να αναπτυχθούν νέες μέθοδοι, για παράδειγμα, για την προστασία του πόσιμου νερού από υλικά ναοκλίμακας.

Οι μαθητές μπορούν να συμμετέχουν σε συζητήσεις σχετικά με θέματα ασφάλειας και άλλους κινδύνους για την υγεία και το περιβάλλον και να τις συγκρίνουν με τα οφέλη της νέας τεχνολογίας.

Τα μέσα ενημέρωσης είναι γεμάτα με αναφορές για τις υποσχέσεις της N-ET. Οι πολίτες χρειάζονται καλές δεξιότητες κριτικής σκέψης και επαρκή επιστημονική γνώση ώστε να είναι σε θέση να αξιολογήσουν τους ισχυρισμούς που ακούν και διαβάζουν. Συχνά οι μαθητές δεν αναπτύσσουν επαρκώς τις δεξιότητες αυτές στο σχολείο (Stevens et al., 2009).

Οι ερευνητές τονίζουν ότι τα επιτεύγματα των μαθητών αυξάνονται σημαντικά όταν το θέμα που εξετάζουν στις φυσικές επιστήμες σχετίζεται με τη ζωή τους (Schwartz-Bloom & Harpin, 2003).

Οι μαθητές μπορούν να δουν τις διαδικασίες που χρησιμοποιούν οι επιστήμονες όταν αντιμετωπίζουν νέα φαινόμενα. Μπορούν να δουν πως οι μηχανικοί



δημιουργούν νέες εφαρμογές όχι μόνο για την επίλυση προβλημάτων στο εργαστήριο αλλά και για να διευκολύνουν και να απολαμβάνουν την καθημερινή ζωή.

Τέλος οι μαθητές μπορούν να συζητήσουν για τη χρησιμότητα και τη σχέση κόστους-οφέλους αυτών των εφαρμογών στην κοινωνία, έτσι ώστε να είναι διατεθειμένοι να συμμετάσχουν στις διαδικασίες λήψης αποφάσεων κρίσιμης σημασίας στις οποίες πρέπει να συμμετέχουν όλα τα άτομα μιας κοινωνίας.

Οι MI1-MI6 εστιάζουν στο επιστημονικό περιεχόμενο και στην κατανόηση των φαινομένων της N-ET, ενώ οι MI7-MI9 στοχεύουν στην προώθηση του τομέα της N-ET (Stevens et al., 2009).

Συμπερασματικά λοιπόν, οι Μις είναι οι κεντρικές έννοιες με τις οποίες υποστηρίζεται ότι μπορεί να γίνει κατανοητό το επιστημονικό πεδίο της N-ET. Στον Πίνακα 1, παρουσιάζουμε συνοπτικά το περιεχόμενο της N-ET στις 3 βαθμίδες της εκπαίδευσης. Στην τριτοβάθμια εκπαίδευση οι Μις διαφοροποιούνται λίγο και είναι οι: MI1: Μέγεθος και Κλίμακα, MI2: Λόγος εμβαδόν επιφάνειας/όγκος (SA/V), MI3: Συμπεριφορά που κυριαρχείται στην επιφάνεια, MI4: Αυτο-οργάνωση, MI5: Κβαντικά Φαινόμενα, MI6: Ιδιότητες που εξαρτώνται από το μέγεθος, MI7: Όργανα και Εργαλεία/Χαρακτηρισμός, MI8: Μοντέλα και προσομοιώσεις, MI9: Επιστήμη, Τεχνολογία, Κοινωνία (Μάνου, Σπύρτου, Χατζηκρανιώτης & Καριώτογλου, 2015).

Σύμφωνα με τους Sakhnini & Blonder (2015) πέρα από τις 9 Μις που συναντάμε στην τριτοβάθμια, αναγνωρίζονται και άλλες 5 Νέες Μεγάλες Ιδέες (NMI) που αναπτύχθηκαν ως περιεχόμενο για τη Δευτεροβάθμια εκπαίδευση (Μάνου, Σπύρτου, Χατζηκρανιώτης & Καριώτογλου, 2015).

**NMI1 «Δομή της ύλης»:** Σχετικά με την επίδραση της διάταξης των δομικών μονάδων μιας νανοδομής (άτομα, μόρια, νανοσωματίδια) στις ιδιότητές της.

**NMI2 «Δυνάμεις και αλληλεπιδράσεις»:** Αφορά τις αλληλεπιδράσεις μεταξύ δομών της νανοκλίμακας, μέσω διαφόρων τύπων ηλεκτρικών δυνάμεων (Coulomb, van der Waals, δυνάμεις London).

**NMI3 «Λειτουργικότητα»:** Μία ιδιότητα που δίνεται σε ένα νανοϋλικό ώστε να επιτελέσει μια συγκεκριμένη δραστηριότητα (πχ συνάφεια).

**NMI4 «Ταξινόμηση των νανοϋλικών»:** Σε διάφορες κατηγορίες ανάλογα με τη χημική τους σύσταση (πχ ανόργανα νανοσωματίδια, οργανικές ενώσεις), την ηλεκτρική τους αγωγιμότητα (ημιαγωγοί), την προέλευσή τους (φυσικά, τεχνητά) και τις διαστάσεις τους (μιας διάστασης, δύο διαστάσεων κτλ).

**NMI5 «Ερευνητικά Χαρακτηριστικά»:** Πολυεπιστημονικότητα, συνεργατικότητα μεταξύ των επιστημόνων των διαφορετικών κλάδων των Φυσικών Επιστημών (ΦΕ) και εξέλιξη της έρευνας της N-ET και των εφαρμογών της.

**Πίνακας 1: Περιεχόμενο της Ν-ΕΤ στις τρεις βαθμίδες της εκπαίδευσης**

Μεγάλες Ιδέες	Γ/θμια Εκπαίδευση	Β/θμια Εκπαίδευση	Α/θμια Εκπαίδευση
MI1:Μέγεθος και Κλίμακα	✓	✓	✓
MI2:Λόγος εμβαδόν επιφάνειας/όγκος (SA/V)	✓	Ενσωματωμένη MI1,MI6	✓
MI3:Συμπεριφορά που κυριαρχείται στην επιφάνεια	✓	Ενσωματωμένη MI6	X
MI4:Αυτο-οργάνωση	✓	✓	X
MI5:Κβαντικάφαινόμενα	✓	✓	X
MI6:Ιδιότητες που εξαρτώνται από το μέγεθος	✓	✓	✓
MI7:Όργανα και εργαλεία/Χαρακτηρισμός	✓	✓	✓
MI8:Μοντέλα και Προσομοιώσεις	✓	✓	✓
MI9:Επιστήμη, Τεχνολογία, Κοινωνία	✓	✓	✓
NMI1:Δομή της ύλης	X	✓	X
NMI2:Δυνάμεις και αλληλεπιδράσεις	X	✓	X
NMI3:Λειτουργικότητα	X	✓	X
NMI4:Ταξινόμηση των νανοϋλικών	X	✓	✓
NMI5:Ερευνητικά χαρακτηριστικά	X	✓	✓

## 1.4 Η εκπαιδευτική αξία της N-ET

### 1.4.1 Εκπαιδευτική αξία της N-ET

Οι ανακαλύψεις, οι τεχνολογίες και οι πληροφορίες που προκύπτουν από την έρευνα της N-ET, απαιτούν υψηλό επιστημονικό γραμματισμό ώστε να γίνουν κατανοητές. Οι σημερινοί μαθητές θα γίνουν ενήλικες οι οποίοι θα πρέπει να λειτουργήσουν σε μία άκρως τεχνολογική κοινωνία, όπου θα καλούνται να αντιληφθούν και να πάρουν αποφάσεις σχετικά με την ταχεία επιστημονική πρόοδο. Σημαντικό ρόλο όμως στην εισαγωγή της N-ET στην σχολική τάξη παίζουν οι καθηγητές, οι οποίοι πρέπει να κατανοήσουν το περιεχόμενο της N-ET ώστε να είναι ικανοί να το ενσωματώσουν στους επιστημονικούς κλάδους (disciplines) που διδάσκουν (Stevens et al., 2009). Επιπλέον, η N-ET σαν τεχνολογία αιχμής φαίνεται να είναι ιδανική για ένα μαθησιακό περιβάλλον με νόημα, το οποίο σχετίζεται με τις εμπειρίες και τα βιώματα των μαθητών (Σπύρτου, Μάνου, Πέικος, & Παπαδοπούλου, 2018).

Για να υπάρξει πετυχημένη έρευνα και ανάπτυξη σ' αυτό το πεδίο απαιτείται έρευνα στην εκπαίδευση ώστε να δοθεί βάση στην ανάπτυξη σχετικών αναλυτικών προγραμμάτων και μαθημάτων (Jones et al., 2013).

Εκτός όμως από τα οφέλη που προκύπτουν από τη N-ET, δεν θα πρέπει να παραβλέπονται οι ανησυχίες για την υγεία και το περιβάλλον. Χρειάζονται επιστημονικά άρτια καταρτισμένοι πολίτες ικανοί να εξετάζουν με επιστημονικό τρόπο τις επιστημονικές εξελίξεις και να αξιολογούν τα οφέλη και τους κινδύνους. Οι περισσότεροι μαθητές είναι πιθανό να μην γίνουν επιστήμονες όμως θα συμμετέχουν στη λήψη αποφάσεων σχετικά με το έργο που επιτελούν οι επιστήμονες. Έτσι κρίνεται απαραίτητο όλοι οι πολίτες να είναι σε θέση να διαβάζουν και να κατανοούν επιστημονικά άρθρα σε εφημερίδες ή στο διαδίκτυο. Υποστηρίζεται ότι η οικονομική πρόοδος και η ικανότητα λήψης αποφάσεων ηθικής εξαρτάται από τις γνώσεις που κατέχει ο πληθυσμός σε μία άκρως τεχνολογική κοινωνία. Αυτές οι συνθήκες θα ήταν δύσκολο να ικανοποιηθούν εάν δεν ξεκινήσει η προετοιμασία στα σχολεία (Stevens et al., 2009).

Επίσης και οι Jones et al (2013), επισημαίνουν την ανάγκη για επιμόρφωση των πολιτών και των μαθητών σχετικά με τους κινδύνους, τα οφέλη και τα κοινωνικά και δεοντολογικά (ethical) ζητήματα που σχετίζονται με την νανοτεχνολογία.

Η ανάγκη ανάπτυξης Νανογραμματισμού (Nanoliteracy) προβάλλεται ως βασικός λόγος για την εισαγωγή του σύγχρονου πεδίου στα σχολικά προγράμματα σπουδών (Jones et al., 2013, Laherto, 2010). Οι μαθητές λέμε ότι έχουν αναπτύξει «Νανογραμματισμό» όταν κατέχουν γνώσεις και δεξιότητες οι οποίες τους κάνουν ικανούς να χειρίζονται θέματα της καθημερινής τους ζωής που βασίζονται στη N-ET. Για παράδειγμα να είναι ικανοί να αποφασίσουν αν ένα προϊόν νανοτεχνολογίας

έχει περισσότερα ή λιγότερα πλεονεκτήματα από ένα συμβατικό προϊόν (Σπύρτου, Μάνου, Πέικος, & Παπαδοπούλου, 2018).

Επιπλέον η χρήση αναδυόμενων τεχνολογιών όπως η νανοτεχνολογία, στη διδασκαλία των φυσικών επιστημών του γυμνασίου, είναι πιθανό να αυξήσει το ενδιαφέρον των μαθητών για τις φυσικές επιστήμες. Για παράδειγμα να πραγματοποιηθούν στην τάξη δραστηριότητες που σχετίζονται με το νανόμετρο (πχ μία ανθρώπινη τρίχα έχει πάχος περίπου 80000 nm, το μάτι ενός σκώρου έχει εξαγωνικό σχήμα και είναι μερικές εκατοντάδες νανόμετρα ψηλά, ένα κόμμα σε μία εφημερίδα είναι μισό εκατομμύριο νανόμετρα) (Sahin & Ekli, 2013).

Τέλος, ένα άλλο θέμα που σχετίζεται με την εισαγωγή της N-ET στην υποχρεωτική εκπαίδευση έχει να κάνει με τις θέσεις εργασίας που σχετίζονται με την επιστήμη και πολλαπλασιάζονται. Κρίνεται λοιπόν απαραίτητο, οι μαθητές να εκπαιδεύονται σε αναπτυσσόμενους τομείς ώστε να έχουν ευκαιρίες σταδιοδρομίας. Αυτό σημαίνει ότι η εκπαίδευση της N-ET θα ήταν χρήσιμο να ξεκινήσει στο γυμνάσιο και στο λύκειο πολύ πριν οι μαθητές επιλέξουν μία σταδιοδρομία στο πανεπιστήμιο (Stevens et al., 2009). Ακόμη, οι μαθητές είναι χρήσιμο να εξοικειωθούν με τα οφέλη, τους κινδύνους καθώς και τα κοινωνικά και δεοντολογικά ζητήματα που σχετίζονται με τη νανοτεχνολογία. Γι' αυτό συνίσταται η επικαιροποίηση των προγραμμάτων σπουδών της σχολικής επιστήμης με την ενσωμάτωση εννοιών νανοτεχνολογίας (Blonder & Sakhnini, 2015).

#### 1.4.2 Ιδέες Μαθητών

Οι ιδέες των μαθητών για τα φυσικά φαινόμενα οικοδομούνται ακόμη και πριν οι μαθητές φοιτήσουν στο σχολείο στην προσπάθειά τους να ερμηνεύσουν αυτά τα φυσικά φαινόμενα. Αυτές τις ιδέες των μαθητών τις συναντάμε και με άλλα ονόματα στη βιβλιογραφία όπως εναλλακτικές απόψεις, αυθόρμητες αντιλήψεις, παρανοήσεις κ.α.

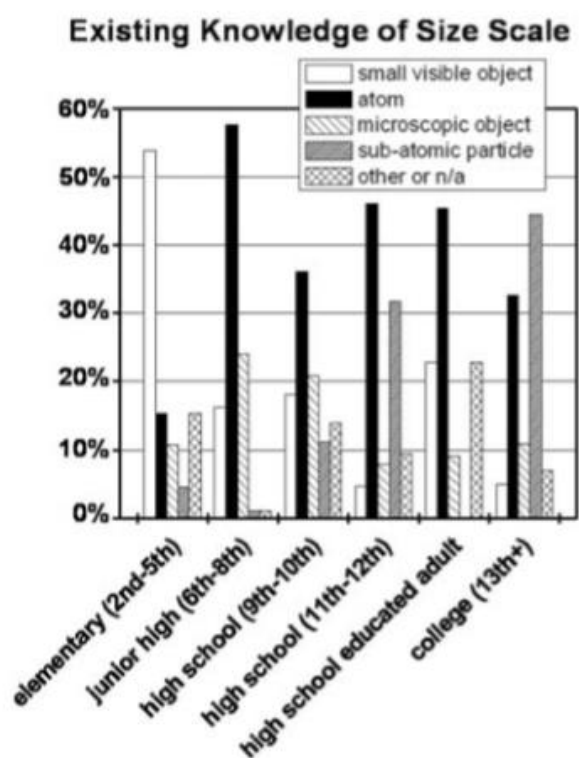
Τις ιδέες αυτές τις οικοδομούν μέσα από τις κοινωνικές αλληλεπιδράσεις, τη γλώσσα και προσπαθούν να ερμηνεύσουν και να προβλέψουν πως λειτουργεί ο κόσμος και οτιδήποτε πέφτει στην αντίληψή τους.

Παρουσιάζεται μία παγκοσμιότητα στις ιδέες των μαθητών και προκύπτουν ερμηνευτικά μοντέλα. Κάποιες από αυτές είναι τόσο καλά εδραιωμένες που δεν αλλάζουν με τη διδασκαλία. Είναι πολύ πιθανό ακόμα και αν αλλάξουν στο πλαίσιο του σχολείου και των εξετάσεων να επανέλθουν εκτός σχολείου. Οι ιδέες των μαθητών δεν είναι απλές παρανοήσεις λόγω κακής πληροφόρησης, αλλά πιθανόν να οφείλονται σε κάποιους μηχανισμούς που διαθέτουν και μ' αυτούς ερμηνεύουν οτιδήποτε πέφτει στην αντίληψή τους (Driver, Kokkotas, Skoula, & Asēmakoroulou, 1998).

Οι Castellini et al (2007), στην έρευνά τους εξέτασαν τις βασικές γνώσεις του κοινού γύρω από τη νανοτεχνολογία. Σαν ερευνητικό εργαλείο χρησιμοποιήθηκε ένα ερωτηματολόγιο επτά ερωτήσεων. Οι ερωτήσεις εξέταζαν τις γνώσεις του κοινού σχετικά με το μέγεθος και την κλίμακα, τα άτομα, τη νανοτεχνολογία, καθώς και τη στάση τους απέναντι στη νανοτεχνολογία.

Οι συμμετέχοντες προήλθαν από δύο δημόσια σχολεία του Wisconsin, ένα παιδικό μουσείο επιστημών και ένα μεγάλο εμπορικό κέντρο. Ήταν 495 άτομα ηλικίας 7 έως 91 ετών, με τους 298 από αυτούς να είναι μαθητές πρωτοβάθμιας (14%) και δευτεροβάθμιας (46%).

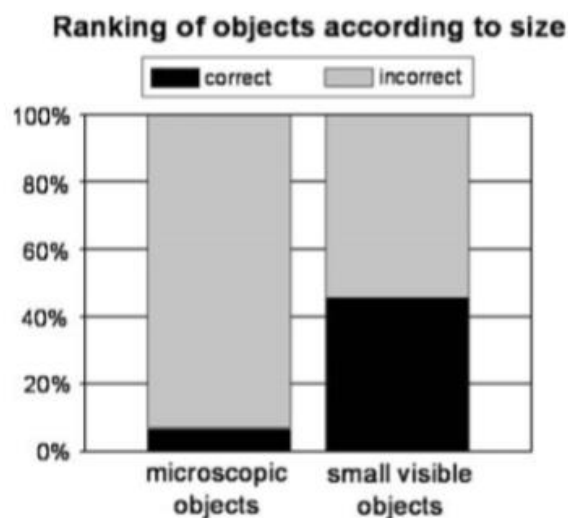
Όσον αφορά την αξιολόγηση του μεγέθους και της κλίμακας στην ερώτηση ποιο ήταν το μικρότερο αντικείμενο που μπορούσαν να σκεφτούν, οι περισσότεροι πρωτοβάθμιοι μαθητές μικρών τάξεων ανέφεραν τα μυρμήγκια, τα ζουζούνια και τους ιούς. Στις μεγαλύτερες τάξεις δημοτικού αναφέρθηκαν τα κύτταρα. Ενώ δευτεροβάθμιοι μαθητές (γυμνασίου και λυκείου) ανέφεραν τα άτομα και σε σημαντικό ποσοστό οι πιο μεγάλες τάξεις τα κουάρκ. Οι ενήλικες που συμμετείχαν ανέφεραν κυρίως το άτομο και υποατομικά σωματίδια.



**Εικόνα 10: Αξιολόγηση μεγέθους-κλίμακας. Ποιο είναι το μικρότερο αντικείμενο που μπορείτε να σκεφτείτε; (Castellini et al., 2007)**

Όταν στην συνέχεια κλήθηκαν να ταξινομήσουν κατά σειρά μεγέθους, ένα κύτταρο, ένα βακτήριο, ένα άτομο και ένα μόριο νερού, μόνο το 7% ταξινόμησε σωστά όλα

τα στοιχεία. Ενώ είχαν μεγαλύτερη επιτυχία όταν ταξινόμησαν μικρά, ορατά αντικείμενα.



Εικόνα 11: Ταξινόμηση αντικειμένων κατά σειρά μεγέθους (Castellini et al., 2007)

Τέλος στην ερώτηση για το τι γνωρίζουν σχετικά με την νανοτεχνολογία, λιγότεροι από τους μισούς έδωσαν έναν ορισμό που να σχετίζεται με την τεχνολογία που εξετάζει μικρά μεγέθη. Ενώ όταν ρωτήθηκαν κατά πόσο επηρεάζει την καθημερινή ζωή και την κοινωνία, οι περισσότεροι απάντησαν ουδέτερα προς θετικά. Πηγές πληροφόρησης για τη νανοτεχνολογία αναδείχθηκαν κατά βάση τα μέσα μαζικής ενημέρωσης.

Επιπλέον, η σύνδεση της νανοτεχνολογίας με την μικροηλεκτρονική (digital gadget) και τις ψηφιακές εφαρμογές είναι κάτι που παρατηρείται από πολλούς μαθητές. Γενικά η θεώρηση της νανοτεχνολογίας ως ένας τομέας της μικροηλεκτρονικής είναι μεγάλη από το ευρύ κοινό. Έτσι προκύπτει η ανάγκη της προώθησης της νανοτεχνολογίας μέσα από διαφορετικά πεδία όπως αυτό της υγείας και του περιβάλλοντος (Stafford & Molinaro, 2005.p8).

Βασική έννοια που σχετίζεται με την κατανόηση της νανοτεχνολογίας είναι το μέγεθος και η κλίμακα. Οι Delgado et al (2006), παρουσίασαν το 2007 στο συνέδριο NARSTS μία έρευνα που αποσκοπούσε στο πως οι μαθητές συνδέουν μεταξύ τους 4 υποενότητες του μεγέθους: (α) την διάταξη (ordering), (β) την ομαδοποίηση (grouping), (γ) τη σύγκριση (πόσες φορές είναι ένα αντικείμενο μεγαλύτερο ή μικρότερο από ένα άλλο) και (δ) το απόλυτο μέγεθος (ποιο είναι το ακριβές μέγεθος ενός αντικειμένου). Οι συμμετέχοντες ήταν 42 μαθητές δευτεροβάθμιας εκπαίδευσης (διάφορες τάξεις). Οι μαθητές πήραν μέρος σε δραστηριότητες σχετικές με την ταξινόμηση, την ομαδοποίηση, τη σύγκριση και το απόλυτο μέγεθος αλλά και με τη σύνδεση αυτών. Στα αποτελέσματα παρατηρήθηκε ασυνέπεια μεταξύ της σκέψης των μαθητών (πχ ταξινομούσαν σωστά και ομαδοποιούσαν λάθος χωρίς έγκυρη δικαιολόγηση).

Για να ξεπεραστούν αυτές οι ασυνέπειες οι ερευνητές εστιάζουν και στην εξερεύνηση του ρόλου της γνώσης περιεχομένου (content knowledge). Δηλαδή της γνώσης ότι ένα μιτοχόνδριο βρίσκεται μέσα στο κύτταρο άρα είναι μικρότερο από αυτό, ότι τα άτομα δεν φαίνονται με ένα οπτικό μικροσκόπιο και ότι απαρτίζουν τα μόρια και άρα είναι μικρότερα από αυτά, ώστε να γίνουν οι απαραίτητες συνδέσεις. Η έρευνα των Schönborn, Höst, & Lundin Palmerius (2015), αναφέρεται στην ανάπτυξη του εργαλείου Nanoknowledge Instrument (NanoKI), για τη μέτρηση της εννοιολογικής γνώσης της νανοεπιστήμης και της νανοτεχνολογίας. Συμμετείχαν 302 άτομα (139 γυναίκες, 163 άνδρες), ηλικίας 13-79 ετών. Οι συμμετέχοντες απάντησαν σε ένα ερωτηματολόγιο 28 θέσεων γύρω από τις βασικές νάνο-έννοιες, μέσα από πλατφόρμες κοινωνικών μέσων (πχ Twitter, Facebook κ.α.) και προήλθαν από τουλάχιστον 20 χώρες σε όλο τον κόσμο. Η συλλογή δεδομένων διεξήχθη σε τρεις μήνες και οι συμμετέχοντες αρχικά κλήθηκαν να δηλώσουν φύλο, ηλικία, επίπεδο εκπαίδευσης και να αξιολογήσουν το ενδιαφέρον τους για τη Ν-ΕΤ. Η πλειοψηφία του δείγματος απάντησε θετικά για το ενδιαφέρον ως προς τη Ν-ΕΤ. Στα αποτελέσματα της έρευνας, το 54,5% έδωσε σωστές απαντήσεις. Από το 45,5% των λάθος απαντήσεων η πιο διαδεδομένη παρανόηση αναφέρεται στο σχετικό μέγεθος της νανοκλίμακας, με το 40% να απαντά λανθασμένα ότι «Ένα νανόμετρο είναι ένα εκατομμύριο (1.000.000) φορές μικρότερο από ένα μέτρο». Επίσης για παράδειγμα, το 24% του δείγματος απάντησε λανθασμένα ότι «Όσο μικρότερο είναι ένα αντικείμενο, τόσο μικρότερο είναι το εμβαδόν του σε σχέση με τον όγκο του». Ενώ το 19% δεν αναγνώρισε ως σωστή την πρόταση «Τα αντικείμενα στη νανοκλίμακα διατηρούνται σε τυχαία κίνηση με συνεχείς συγκρούσεις με άλλα σωματίδια», γεγονός που υποδηλώνει την ανάγκη για εννοιολογική κατανόηση των κολλητικότητα (stickiness), αεικινήσια (shakiness) και τραχύτητα (bumpiness) ιδιοτήτων του νανόκοσμου.

Επιπλέον, στην έρευνα που πραγματοποίησε η Ευρωπαϊκή Επιτροπή (2010), καταγράφηκαν οι αντιλήψεις 2000 ατόμων ηλικίας 11-25, από 25 χώρες της Ευρωπαϊκής Ένωσης και του Ισραήλ, σχετικά με τη νανοτεχνολογία.

Τα αποτελέσματα της έρευνας έδειξαν ότι αφενός οι συμμετέχοντες είχαν ακούσει για τον όρο νάνο, όμως δεν είχαν βαθιά γνώση για το τι αντιπροσωπεύει καθώς ότι γνώριζαν προέρχονταν κυρίως από τη χρήση νάνο-προϊόντων. Παρατηρήθηκε ότι μαθητές 11-13 ετών δεν έδωσαν πολλές έγκυρες απαντήσεις, κάτι που πιθανώς να οφείλεται στο ότι η νανοτεχνολογία δεν περιλαμβάνεται στο σχολικό πρόγραμμα σπουδών, ενώ αντίθετα εγκυρότερες απαντήσεις βρέθηκαν σε μαθητές 14-18 ετών πιθανότατα λόγω της εισαγωγής θεμάτων νανοτεχνολογίας στα μαθήματά τους. Όσον αφορά το ενδιαφέρον και τη στάση τους απέναντι στη νανοτεχνολογία υπήρξαν θετικές και αρνητικές σκέψεις. Οι θετικές είχαν να κάνουν κυρίως με την ιατρική, την πληροφορική, τις τηλεπικοινωνίες και την προστασία του περιβάλλοντος, ενώ οι αρνητικές με την προσοχή για εξασφάλιση της ιδιωτικής ζωής, της προστασίας των καταναλωτών και του περιβάλλοντος αλλά και της

υγείας. Όπως για παράδειγμα οι πιθανοί κίνδυνοι χρήσης συγκεκριμένων προϊόντων που περιέχουν ναοσωματίδια, όπως κάλτσες, ζακέτες με GPS, γυαλιά ηλίου, e-paper.

Ένα άλλο παράδειγμα έρευνας έχουμε από τους Sahin & Ekli (2013), οι οποίοι μελέτησαν την ευαισθητοποίηση, τις γνώσεις, τις απόψεις και τις αντιλήψεις κινδύνου μαθητών δευτεροβάθμιας εκπαίδευσης από την Τουρκία, σχετικά με τη νανοτεχνολογία. Οι συμμετέχοντες ήταν 1396 μαθητές γυμνασίου (ηλικίας 12-15 ετών) από 23 δημόσια σχολεία (708 κορίτσια, 688 αγόρια). Το ερευνητικό εργαλείο που χρησιμοποιήθηκε για να συλλέξουν τα δεδομένα ήταν ένα ερωτηματολόγιο. Οι μαθητές φάνηκε να έχουν κάποια επίγνωση της νανοτεχνολογίας και οι περισσότεροι μαθητές είχαν θετικά συναισθήματα και απόψεις. Συγκεκριμένα η πλειοψηφία (66%) των μαθητών εξέφρασε θετική ανταπόκριση στη νανοτεχνολογία. Επιπλέον, το 62,8% είχε ένα μέτριο επίπεδο εμπιστοσύνης στην ικανότητα των επιστημόνων να ελαχιστοποιούν τους κινδύνους που σχετίζονται με τη νανοτεχνολογία. Τέλος φάνηκε πως η κύρια πηγή πληροφόρησης των μαθητών σχετικά με τη νανοτεχνολογία είναι η τηλεόραση (N=419, 30%).

Θετική στάση των μαθητών απέναντι στη Ν-ΕΤ, φαίνεται να αναπτύσσεται και μέσα από πρακτικές δραστηριότητες (“hands-on laboratory work”) και πραγματικά πειράματα πάνω σε φαινόμενα της νανοκλίμακας στη φύση (Cheng, Hung & Huang, 2014).

Στη χώρα μας, οι Πέικος, Μάνου & Σπύρτου (2015b) μελέτησαν: α) τι νόημα αποδίδουν οι μαθητές στον όρο «νανοτεχνολογία», β) τις ιδέες των μαθητών για «το φαινόμενο του λάχανου» (υπέρ-υδροφοβικότητα) και γ) τις ιδέες τους σχετικά με τα όργανα παρατήρησης. Το δείγμα τους αποτέλεσαν, 15 μαθητές της τελευταίας τάξης του Δημοτικού σχολείου. Στο πρώτο ερώτημα, φαίνεται πως περίπου οι μισοί μαθητές θεωρούσαν ότι η νανοτεχνολογία σχετίζεται «με κάτι μικρό». Για το «φαινόμενο του λάχανου», φάνηκε ότι οι μαθητές αποδίδουν το φαινόμενο της υπέρ-υδροφοβικότητας στα φυσικά χαρακτηριστικά του λάχανου τα οποία είναι ορατά στον μακρόκοσμο (έχει λεπτό φύλλο, είναι μαλακό και έχει στρογγυλό σχήμα). Τέλος, σχετικά με τα όργανα παρατήρησης τα αποτελέσματα δείχνουν ότι η πλειοψηφία των μαθητών γνωρίζει το οπτικό μικροσκόπιο ως όργανο παρατήρησης μη ορατών με γυμνό μάτι αντικειμένων.

Στο εκπαιδευτικό υλικό που ακολουθεί, περιλαμβάνονται πέντε από τις μεγάλες ιδέες (MI1, MI5, MI7, MI8, MI9), για τις οποίες σύμφωνα με τους Stevens et al (2009) ανιχνεύονται κάποιες δυνητικές δυσκολίες που πιθανότατα να αντιμετωπίσουν οι μαθητές. Κάποιες από τις δυσκολίες αυτές είναι οι εξής:

Για την MI1:

- Οι μαθητές μπορεί να αντιμετωπίζουν δυσκολία με τις μονάδες μέτρησης.
- Οι μαθητές μπορεί να δυσκολεύονται να μετρήσουν το μήκος ενός αντικειμένου αν το άκρο (μηδέν) του χάρακα δεν ευθυγραμμίζεται με την άκρη του αντικειμένου.



- Τα αντικείμενα στον άορατο κόσμο δεν μπορούν να αντιμετωπιστούν και να χειραγωγηθούν άμεσα, γεγονός που δυσχεραίνει τους μαθητές να αναπτύξουν μια ισχυρή κατανόηση των μικρών αντικειμένων.
- Οι μαθητές μπορεί να πιστέψουν ότι όλα τα αντικείμενα που είναι πολύ μικρά για να τα βλέπεις με γυμνό μάτι είναι περίπου το ίδιο μέγεθος, ενώ στην πραγματικότητα τα σχετικά μεγέθη τους μπορεί να είναι πολύ διαφορετικά.
- Οι μαθητές μπορεί να πιστέψουν ότι μικρά μακροσκοπικά αντικείμενα όπως τα μυρμήγκια ή οι κόκκοι αλατιού είναι μικρότερα από τα άτομα και τα κύτταρα.
- Οι μαθητές έχουν συχνά εννοιολογικές δυσκολίες με δεκαδικά ψηφία, αναλογίες και μετρήσεις.
- Οι μαθητές μπορεί να έχουν δυσκολία να αντιληφθούν και να υπολογίσουν την επιφάνεια και τον όγκο.

Για την MI5 οι μαθητές μπορεί να πιστεύουν ότι:

- Όλα τα άτομα ή τα μόρια σε ένα υλικό (τόσο στην επιφάνεια όσο και στο εσωτερικό) συμπεριφέρονται με τον ίδιο τρόπο.
- Τα μεμονωμένα άτομα ή μόρια μιας ουσίας έχουν τις ίδιες ιδιότητες με την ουσία. Για παράδειγμα, οι μαθητές μπορεί να πιστεύουν ότι τα άτομα του χρυσού έχουν κίτρινο χρώμα.
- Οι εντατικές ιδιότητες είναι πάντα οι ίδιες ανεξάρτητα από την ποσότητα του υλικού.
- Οι ιδιότητες ενός υλικού είναι ανεξάρτητες από το σχήμα του και ότι οι ιδιότητες είναι πάντα οι ίδιες και στις τρεις κατευθύνσεις σε ένα δεδομένο υλικό.

Για την MI7 οι μαθητές μπορεί να πιστεύουν ότι:

- Είναι δυνατό να δουν άτομα και μόρια με οπτικό μικροσκόπιο.
- Δεν υπάρχουν εργαλεία που είναι αρκετά μικρά για να δουλεύουν με πράγματα που είναι πολύ μικρά για να δουν.
- Ένα οπτικό μικροσκόπιο μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την παρακολούθηση και τη μέτρηση αντικειμένων της ναυοκλίμακας.
- Τα μικροσκόπια ανίχνευσης σάρωσης λειτουργούν παρόμοια με τα οπτικά μικροσκόπια και οι εικόνες που παράγονται με μικροσκόπια ανίχνευσης σάρωσης είναι οι ίδιες με αυτές που βλέπουν μέσω οπτικού μικροσκοπίου.

Για την MI8 οι μαθητές μπορεί να πιστεύουν ότι:

- Τα μοντέλα πρέπει να φαίνονται ακριβώς όπως ο στόχος, μόνο μεγαλύτερα ή μικρότερα.
- Μπορεί να υπάρχει μόνο ένα σωστό μοντέλο για κάθε δεδομένο στόχο.
- Τα μοντέλα είναι πραγματικές αντιλήψεις.

- Τα μοντέλα πρέπει να μπορούν να αγγίζονται. Οι μαθητές μπορεί να μην συνειδητοποιήσουν ότι μπορεί να υπάρχουν μαθηματικά, υπολογιστικά και συμβολικά μοντέλα.

Για την ΜΙ9 οι μαθητές μπορεί να πιστεύουν ότι:

- Η επιστήμη δεν είναι μια διαδικασία, αλλά μια στατική συλλογή γεγονότων και ότι όλα τα πειράματα λειτουργούν.
- Μόνο μερικοί άνθρωποι διαδραματίζουν ρόλο στην εξέλιξη της επιστήμης και της τεχνολογίας και ότι οι ίδιοι οι μαθητές δεν μπορούν να διαδραματίσουν ρόλο στην εξέλιξη της επιστήμης και της τεχνολογίας ή στον τρόπο με τον οποίο χρησιμοποιείται.
- Οι επιστημονικές ιδέες είναι γεγονότα και συνεπώς οι επιστήμονες (ή οι μαθητές) δεν έχουν κανένα λόγο να αμφισβητούν αυτές τις ιδέες.
- Τα νέα προϊόντα και οι τεχνολογίες είναι πάντα καλύτερες από τις παλιές
- Όταν αναπτύσσονται τεχνολογίες και νέα προϊόντα για την επίλυση προβλημάτων, δεν υπάρχουν παρενέργειες ή αρνητικά.

Όσον αφορά το φαινόμενο του λωτού οι μαθητές φαίνεται να το αποδίδουν σε φυσικά χαρακτηριστικά του φυτού τα οποία είναι ορατά στον μακρόκοσμο, όπως για παράδειγμα ότι έχει σκληρό ή λεπτό φύλλο (Σπύρτου, Μάνου, Πέικος, & Παπαδοπούλου, 2018). Κάτι αντίστοιχο προέκυψε και από την έρευνα της Ρόγκου (2018), η οποία πραγματοποιήθηκε σε 60 φοιτητές, της Παιδαγωγικής Σχολής Φλώρινας. Στα αποτελέσματα της έρευνας φάνηκε ότι η πλειοψηφία των συμμετεχόντων εμφάνισε δυσκολία στην εξήγηση του φαινομένου του λωτού και της σαύρας Gecko, αποδίδοντας τα φαινόμενα σε φυσικά χαρακτηριστικά αυτών ή αφηρημένες έννοιες.

## 2<sup>ο</sup> Κεφάλαιο: Σχεδιασμός και ανάπτυξη εκπαιδευτικού υλικού

### 2.1 Το Μοντέλο Εκπαιδευτικής Επανοικοδόμησης (MER)

Για τον Διδακτικό Μετασχηματισμό Περιεχομένου χρησιμοποιήθηκε το Μοντέλο Εκπαιδευτικής Επανοικοδόμησης (MER – Model of Educational Reconstruction) (Duit, 2007, Duit et al., 2012). Σύμφωνα με το οποίο αφού μελετήθηκε το επιστημονικό πλαίσιο προέκυψε η κεντρική ιδέα και έγινε μετασχηματισμός της επιστημονικής γνώσης σε γνώση προς διδασκαλία, λαμβάνοντας υπόψη τις δυσκολίες/ιδέες των μαθητών.

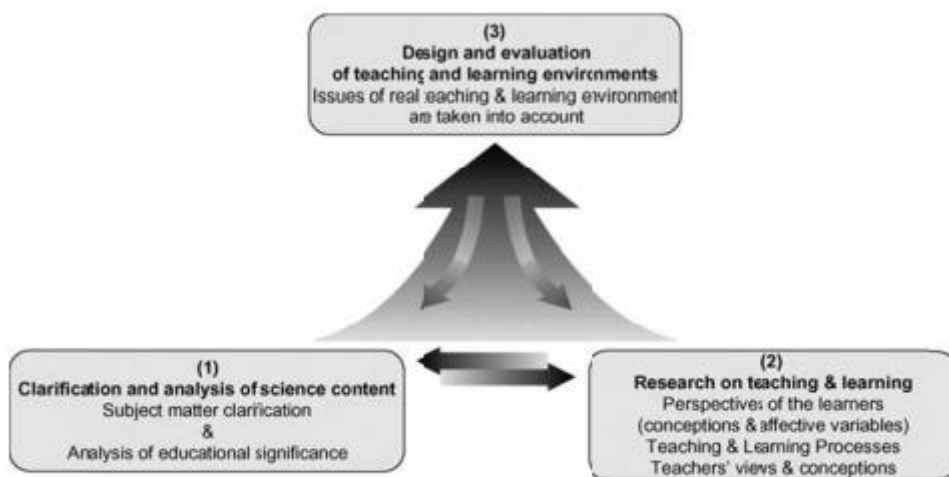


Figure 3. The three components of the Model of Educational Reconstruction.

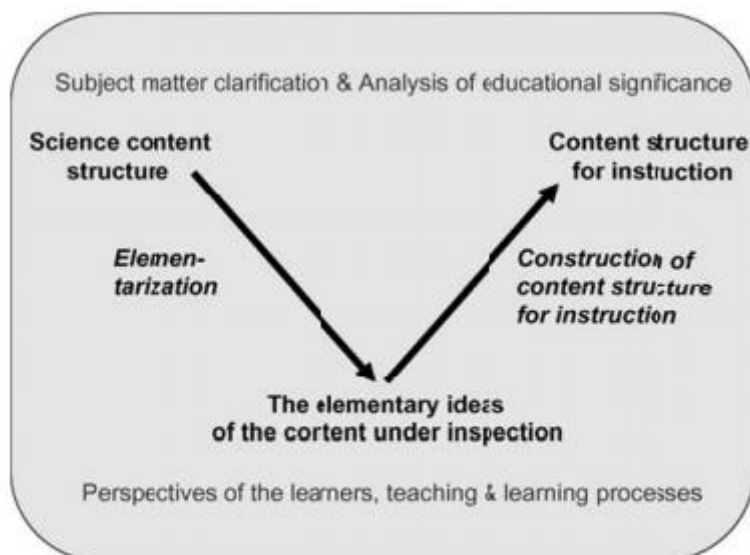


Figure 4. Steps towards a content structure for instruction.

Εικόνα 12: Το Μοντέλο Εκπαιδευτικής Αναδόμησης (MER) (Duit et al., 2012)

## 2.2 Μάθηση μέσω μικρών ερευνών (inquiry-based learning)

Κατά το σχεδιασμό των δραστηριοτήτων, έγινε χρήση της μάθησης μέσω μικρών ερευνών (inquiry-based learning), που είναι μία συνέχεια του μοντέλου ανακαλυπτικής μάθησης. Μέσα από αυτό οι μαθητές ενθαρρύνονται να αναζητήσουν πληροφορίες για ένα ερώτημα ή ένα πρόβλημα που τους ενδιαφέρει πραγματοποιώντας διερευνήσεις ή μικρές έρευνες ώστε να απαντήσουν στο συγκεκριμένο ερώτημα/πρόβλημα. Ο βασικός στόχος είναι η άσκηση των μαθητών σε επιστημονικές διαδικασίες. Μέσα από αυτήν τη διαδικασία οι μαθητές αναπτύσσουν ερευνητικές δεξιότητες καθώς εμπλέκονται σε δραστηριότητες που έχουν να κάνουν με τη διερεύνηση ερωτημάτων ή προβλημάτων. Τα βασικά στάδια της διερεύνησης ερωτημάτων στη σχολική τάξη είναι: ο σχεδιασμός της διερεύνησης ενός ερωτήματος, η λήψη και η παρουσίαση των δεδομένων και η αξιολόγηση των ενδείξεων (Χαλκιά, 2012).

Ιδιαίτερη σημασία φαίνεται να έχει η διαδικασία της αλληλεπίδρασης κατά τη μάθηση (βλ εργασία σε ομάδες). Κι αυτό γιατί η μάθηση για τον κόσμο δεν μένει ανεπηρέαστη από τις κοινωνικές επιδράσεις. Η επιβεβαίωση και η αποδοχή των ιδεών ενός ατόμου από τους άλλους στο πλαίσιο της τάξης, παίζει ένα ρόλο στη διαμόρφωση της οικοδόμησης της γνώσης.

Όσον αφορά τη μάθηση στις Φυσικές Επιστήμες (Φ.Ε.), αυτή περιλαμβάνει τη μύηση του μαθητή στην κουλτούρα τους. Οι μαθητευόμενοι χρειάζεται να έχουν πρόσβαση όχι μόνο στις φυσικές εμπειρίες αλλά επίσης στις έννοιες και τα μοντέλα των καθιερωμένων Φ.Ε.. Επίσης η σχέση μεταξύ της απόδειξης και της θεωρίας δεν είναι μόνο μία σημαντική όψη της φύσης των Φ.Ε. αλλά και ένα θέμα κριτικής σημασίας στην εκμάθηση των Φ.Ε. από τα παιδιά. Ακόμη είναι σημαντικό για τους μαθητές να γνωρίζουν πως οι επιστημονικές ιδέες αναπτύσσονται και αξιολογούνται.

Η διδασκαλία των Φ.Ε. με βάση τις ιδέες των παιδιών εξαρτάται από το σχεδιασμό κατά τέτοιο τρόπο που να οδηγεί στην εξέλιξη των ιδεών τους. Στο σχεδιασμό της διδασκαλίας, είναι χρήσιμο οι μαθητές με μικρά βήματα να φτάσουν στις επιστημονικές απόψεις. Η διαδοχή αυτών των μικρών βημάτων πρέπει να λαμβάνει υπόψη τον τρόπο που εξελίσσονται οι ιδέες των μαθητών (Driver et al., 1998).

## 2.3 Παραδείγματα εκπαιδευτικών εφαρμογών N-ET

Είναι φανερό πλέον ότι ο κλάδος της N-ET, αποτελεί ένα σύγχρονο και κυρίαρχο πεδίο έρευνας και αναπτύσσεται με γρήγορους ρυθμούς προσφέροντας χρήσιμα προϊόντα και εφαρμογές. Οι ανάγκες της βιομηχανίας για ένα εξειδικευμένο εργατικό δυναμικό και η ανάγκη ανάπτυξης Νανογραμματισμού (Nanoliteracy)

προβάλλονται ως βασικοί λόγοι για την εισαγωγή του σύγχρονου πεδίου στα σχολικά προγράμματα σπουδών (Jones et al., 2013).

Συγκεκριμένα ένα κρίσιμο ερώτημα που μελετάται σε πρόσφατες έρευνες είναι: ποιές έννοιες και φαινόμενα της N-ET μπορούν να εισαχθούν στην υποχρεωτική εκπαίδευση;

Τα πρώιμα συμπεράσματα υποστηρίζουν ότι φαινόμενα της φύσης που σχετίζονται με τη νανοκλίμακα μπορούν να προκαλέσουν το ενδιαφέρον των μαθητών (Sakhnini & Blonder, 2015, Filiponi & Sutherland, 2010).

Ένα χαρακτηριστικό παράδειγμα οργανισμών της φύσης των οποίων οι ιδιότητες οφείλονται στην νανοκλίμακα είναι το ασιατικό φυτό λωτός και το τριαντάφυλλο.

Για το λόγο αυτό αυτά τα δύο υπέρ-υδρόφοβα φυτά επιλέχθηκαν για τις δραστηριότητες που σχεδιάστηκαν στο εκπαιδευτικό υλικό που ακολουθεί.

Επίσης, είναι ενδιαφέρον ότι πολλά από τα νάνο-προγράμματα βασίζονται στην μικροσκοπία ατομικής δύναμης (AFM), στη μικροσκοπία σάρωσης (STM) και στις μεθόδους ηλεκτρονικής μικροσκοπίας. Τα μικροσκόπια χρησιμεύουν ως παράθυρο για τον νανόκοσμο και παρέχουν την απεικόνιση αφηρημένων εννοιών στην επιστήμη και τη νανοτεχνολογία (Blonder, Joselevich, & Cohen, 2010).

Στη χώρα μας, ένα παράδειγμα εφαρμογής σε θέματα νανοτεχνολογίας στη δευτεροβάθμια εκπαίδευση υλοποιήθηκε στο πλαίσιο του Ευρωπαϊκού προγράμματος Irresistible, στο οποίο συμμετείχε το Παιδαγωγικό Τμήμα Δημοτικής Εκπαίδευσης του Πανεπιστημίου Κρήτης (2013-2016). Στόχος του προγράμματος ήταν η ευαισθητοποίηση των μαθητών σε θέματα Υπεύθυνης Έρευνας και Καινοτομίας μέσω δραστηριοτήτων που αποσκοπούσαν στον εμπλουτισμό των γνώσεων των μαθητών σχετικά με αυτά. Στην προκειμένη περίπτωση οι ερευνητές της χώρας μας εστιάστηκαν σε θέματα Νανοτεχνολογίας (Βελέντζας κ.ά. 2015).

Επίσης, μία διδακτική μαθησιακή ακολουθία με θέμα τη N-ET, εφαρμόστηκε σε μία τάξη μαθητών γυμνασίου (ηλικίας 14-15), σε διάρκεια επτά συναντήσεων (90 λεπτών η καθεμία). Η κάθε συνάντηση επεξεργαζόταν τα ακόλουθα θέματα:

1. Εισαγωγή στη N-ET.
2. Πόσο μικρό είναι ένα νανόμετρο;
3. Πώς μπορούμε να «δούμε» τον νανόκοσμο;
4. Ιδιότητες που εξαρτώνται από το μέγεθος: Αλλαγή του λόγου επιφάνειας προς όγκο (S/V).
5. Επεξήγηση της συμπεριφοράς διαφόρων υφασμάτων (που κυμαίνονται από υδρόφιλα έως υδρόφοβα) όταν απορροφούν σταγόνες νερού.
6. Επεξήγηση των αλλαγών χρώματος στα νανοσωματίδια χρυσού.
7. Αξιολόγηση κινδύνου της νανοτεχνολογίας.

Τα δεδομένα συλλέχθηκαν από ερωτηματολόγια, συνεντεύξεις, φύλλα εργασίας των φοιτητών και σημειώσεις πεδίου. Τα αποτελέσματα φαίνεται να είναι ενθαρρυντικά για τη διδασκαλία των θεμάτων N-ET στο γυμνάσιο (Stavrou, Michailidi, Sgouros, & Dimitriadi, 2015).

Ένα άλλο παράδειγμα αποτελεί το Γερμανικό Υπουργείο Παιδείας και Έρευνας, το οποίο εισήγαγε πρωτοβουλίες όπως το nanoTruck, προκειμένου να ενημερώσει σχετικά με τις εφαρμογές της N-ET και τη διάδοση της νανοεπιστήμης ως ερευνητική περιοχή σε ολόκληρη τη χώρα. Το εργαστήριο αποτελούνταν από 8

σταθμούς εργασίας από τους οποίους περνούσαν κυκλικά οι μαθητές και εκτελούσαν πειραματικές δραστηριότητες σχετικές με τη νανοτεχνολογία. Όπως για παράδειγμα, χρησιμοποιώντας εφαρμογές επαυξημένης πραγματικότητας (Augmented Reality-AR) μελέτησαν τις ιδιότητες κλωστοϋφαντουργικών κατασκευών όπως ρούχα τα οποία είναι επικαλυμμένα με αδιάβροχα στρώματα και στη συνέχεια τα σύγκριναν με άλλα υλικά όπως βαμβάκι ή μαλλί, μελέτησαν τις δομές επιφανειών, έριξαν σταγόνες και μέτρησαν γωνίες επαφής, μέτρησαν το πάχος από σαπουνόφουσες, γνώρισαν νάνο-προϊόντα κ.α.(Tirre, Kampschulte, Thoma, Höffler & Parchmann, 2018).

Μία ακόμη πρόταση για την εισαγωγή της Ν-ΕΤ στην εκπαίδευση έρχεται από το Πανεπιστήμιο της Σαραγόσα στην Ισπανία, κατά τη διάρκεια δύο ακαδημαϊκών ετών (2014-2016). Συνολικά 110 άτομα συμμετείχαν στη μελέτη αυτή (25 μεταπτυχιακοί φοιτητές Χημικού Μηχανικού, που παρακολουθούν το μάθημα επιλογής "Νανοϋλικά" και 85 άτομα με διαφορετικό επίπεδο εκπαίδευσης, από την δευτεροβάθμια εκπαίδευση μέχρι το διδακτορικό). Η έρευνα συμβάλλει στην εκπαίδευση στη νανοκλίμακα, σχεδιάζοντας μια μεγάλη ποικιλία ντοκιμαντέρ που βοηθούν τους μαθητές στην εκμάθηση των βασικών εννοιών της Ν-ΕΤ, των τελευταίων προόδων και των προοπτικών. Επιπλέον, τα ντοκιμαντέρ επιδιώκουν να διαδώσουν την επιστημονική δραστηριότητα της νανοτεχνολογίας στην κοινωνία. Με βάση τα αποτελέσματα που παρατηρήθηκαν στην αξιολόγηση των μαθητών και τις μετρήσεις στο YouTube, προέκυψε το συμπέρασμα ότι τα ντοκιμαντέρ με κύριο θέμα τη νανοκλίμακα επέτρεψαν μια γρήγορη και αποτελεσματική κατανόηση σύνθετων εννοιών που σχετίζονται με τη νανοεπιστήμη και τη νανοτεχνολογία. Επιπλέον, η γνώμη όσων παρακολούθησαν τα ντοκιμαντέρ του YouTube είναι εξαιρετικά θετική και δείχνει ότι το YouTube και τα ντοκιμαντέρ αποτελούν ένα εξαιρετικό τρόπο για τη διάδοση της Ν-ΕΤ στην κοινωνία (Sebastian & Gimenez, 2016).

Στο Ισραήλ ιδρύθηκε ΜΚΟ για την προώθηση της συνεργασίας μεταξύ της επιστημονικής έρευνας και των καινοτομιών στον τομέα της νανοτεχνολογίας. Αυτή η οργάνωση ονομάζεται INNI (Ισραηλινή Εθνική Πρωτοβουλία Νανοτεχνολογίας). Η INNI είναι επιφορτισμένη με τον καθορισμό των εθνικών στόχων και προτεραιοτήτων για την προώθηση της νανοτεχνολογίας στο Ισραήλ, με τη δημιουργία σχεδίων μεγάλης εμβέλειας που εκμεταλλεύονται πλήρως τις επιστημονικές και εμπορικές δυνατότητες του Ισραήλ. Σε αυτό το πλαίσιο οργανώθηκε το συνέδριο NanoIsrael, όπου συμμετέχουν κορυφαίοι ομιλητές, δίνοντας την ευκαιρία στο κοινό να έρθει σε επαφή με τεχνολογίες αιχμής, επιστημονικά επιτεύγματα και μοναδικές επιχειρηματικές και επενδυτικές ευκαιρίες. Το 2014 το NanoIsrael αποφάσισε να τονίσει τη σημασία της εκπαίδευσης για την ανάπτυξη του τομέα της νανοτεχνολογίας, με την καθιέρωση μιας συνεδρίας nanoeducation στο συνέδριο και με τη χρηματοδότηση συμμετοχής μαθητών δευτεροβάθμιας εκπαίδευσης στο συνέδριο. Συγκεκριμένα 190 μαθητές

ηλικίας 14-17 ετών, κλήθηκαν να συμμετέχουν στο συνέδριο Napolisrael 2014 και κάθε μαθητής συμμετείχε σε μία από τις ημέρες του συνεδρίου. Οι περισσότεροι μαθητές είχαν παρακολουθήσει προγράμματα νανοτεχνολογίας στο σχολείο. Οι μαθητές επιλέχθηκαν από διαφορετικά σχολεία από διαφορετικές περιοχές του Ισραήλ. Δύο ημέρες μετά το συνέδριο ένα online ερωτηματολόγιο στάλθηκε στους μαθητές, από τους οποίους το συμπλήρωσαν οι 47, από τους οποίους οι 36 είχαν προηγούμενη εμπειρία με θέματα νανοτεχνολογίας. Όλοι οι μαθητές δήλωσαν ότι τους άρεσε η συμμετοχή στο συνέδριο, όλοι παρακολούθησαν τις διαλέξεις και την έκθεση νανοτεχνολογίας. Η διαφορά παρατηρήθηκε στις αφίσες του συνεδρίου όπου το 75% όσων μαθητών γνώριζαν από πριν έννοιες νανοτεχνολογίας εξέτασαν τις αφίσες ενώ για τους μαθητές που δεν είχαν έρθει σε επαφή με τη νανοτεχνολογία μόνο το 46% αυτών εξέτασε τις αφίσες. Όλοι οι μαθητές συμφώνησαν ότι αξίζει να συμμετέχουν στο συνέδριο και ότι ο τομέας της νανοτεχνολογίας είναι ελκυστικός όσον αφορά τα μελλοντικά τους σχέδια. Σαν νέες έννοιες που έμαθαν από το συνέδριο προέκυψαν η διαβροχή επιφανειών, εφαρμογές νανοτεχνολογίας, προηγμένες έννοιες νανοτεχνολογίας καθώς υπήρξαν και έννοιες που οι μαθητές άκουσαν αλλά δεν μπορούσαν να θυμηθούν. Η εννοιολογική κατανόηση του επιστημονικού περιεχομένου ήταν υψηλότερη για εκείνους τους μαθητές που είχαν μάθει για τη νανοτεχνολογία πριν συμμετάσχουν στο συνέδριο (Blonder & Sakhnini, 2015).

## 2.4 Σχεδιασμός και ανάπτυξη εκπαιδευτικού υλικού

### 2.4.1 Διδακτικός Μετασχηματισμός Περιεχομένου (ΔΜΠ)

Με βάση τη βιβλιογραφική επισκόπηση, αναπτύξαμε και εφαρμόσαμε πιλοτικά μια σειρά από εκπαιδευτικές δραστηριότητες με στόχο να μελετήσουμε τις δυνατότητες εισαγωγής του περιεχομένου της N-ET στη δευτεροβάθμια εκπαίδευση. Συγκεκριμένα τα φαινόμενα του λωτού και του τριαντάφυλλου προσεγγίστηκαν με τις MI1, MI5, MI7, MI8 και MI9.

Από τις 3 ιδιότητες Δομικές (structural property), Χημικές (chemical property) και Φυσικές (physical property), στον ΔΜΠ επιλέχθηκαν οι δομικές και οι φυσικές γιατί: Οι περισσότερες κατασκευασμένες επιφάνειες που εμπνέονται από την επιφάνεια του φύλλου λωτού μιμούνται τη δομική ιδιότητα χωρίς τη χημική ιδιότητα (Kim et al, 2017), γι' αυτό διαλέξαμε τη δομή και όχι τη χημεία της επιφάνειας για τον μετασχηματισμό μας.

Επιπλέον, στον ΔΜΠ συμπεριλάβαμε μόνο τη γωνία επαφής και όχι την υστέρηση της γωνίας επαφής. Για να κάνουμε μία εισαγωγή στην διαφορετική συμπεριφορά της σταγόνας κατά την κλίση του φύλλου του λωτού και του πέταλου του

τριαντάφυλλου (στην πρώτη περίπτωση κύλιση στην δεύτερη όχι), το προσεγγίσαμε όχι από την υστέρηση της γωνίας επαφής αλλά από τη διαφορετική τοπογραφία της επιφάνειας των δύο φύλλων. Έτσι οι μαθητές επεξεργάστηκαν εικόνες ηλεκτρονικού μικροσκοπίου και μέτρησαν τις αποστάσεις των μικροπροεξοχών. Και σε αυτήν την περίπτωση όμως για να ελαφρύνουμε το εκπαιδευτικό φορτίο, αφήσαμε τους μαθητές να ασχοληθούν σε πρώτη φάση μόνο με τη διαφορά στην απόσταση των μικροπροεξοχών και όχι στις διαφορές του ύψους ή του σχήματός τους.

Ακόμη, ακολουθήσαμε την πρόταση των Delgado et al (2006), για εστίαση στην εξερεύνηση του ρόλου της γνώσης περιεχομένου (content knowledge). Δηλαδή της γνώσης ότι ένα μιτοχόνδριο βρίσκεται μέσα στο κύτταρο άρα είναι μικρότερο από αυτό, ότι τα άτομα δεν φαίνονται με ένα οπτικό μικροσκόπιο και ότι απαρτίζουν τα μόρια και άρα είναι μικρότερα από αυτά, ώστε να γίνουν οι απαραίτητες συνδέσεις. Στη δική μας παρέμβαση προσπαθήσαμε να περάσουμε αυτήν την ιδέα μέσα από την παρακολούθηση του βίντεο zoom into a lotus leaf, όπου με διαδοχικά ζουμ στο φύλλο του λωτού περνάει από τον μακρόκοσμο (φύλλο), στον μικρόκοσμο (μικροπροεξοχές) και στον νανόκοσμο (νάνο προεξοχές), δείχνοντας ότι πηγαίνουμε πιο μέσα άρα βλέπουμε μικρότερα αντικείμενα.

**Πίνακας 2α: Διδακτικός Μετασχηματισμός Περιεχομένου**

Επιστημονικό περιεχόμενο	Μετασχηματισμένο περιεχόμενο
<ul style="list-style-type: none"> <li>❖ Δομικές Ιδιότητες               <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Ιεραρχική δομή (μικρο-νάνο)                   <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Συνάφεια</li> </ul> </li> </ul> </li> <li>❖ Φυσικές Ιδιότητες               <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Γωνία επαφής (CA)</li> <li>○ Επιφανειακή τάση</li> <li>○ Επιφάνεια επαφής</li> </ul> </li> <li>○ Υστέρηση γωνίας επαφής (CAH)</li> <li>❖ Χημικές Ιδιότητες</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>❖ Δομικές Ιδιότητες               <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Ιεραρχική δομή (μικρο-νάνο)</li> <li>○ Επικέντρωση στην τοπογραφία της επιφάνειας και στις αποστάσεις των μικροπροεξοχών για τη συμπεριφορά της σταγόνας</li> </ul> </li> <li>❖ Φυσικές Ιδιότητες               <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Γωνία επαφής (CA)</li> <li>○ Επικέντρωση στο σχήμα της σταγόνας ώστε να εξηγηθεί η συνάφεια</li> </ul> </li> </ul>

**Πίνακας 3β: Διδακτικός Μετασχηματισμός Περιεχομένου**

Δραστηριότητες	ΜΙς
<b>ΔΡ1</b>	<b>ΜΙ9</b>



<b>ΔΡ2α</b>	<b>MI7</b>
<b>ΔΡ2β</b>	
<b>ΔΡ3</b>	<b>MI8</b>
<b>ΔΡ4</b>	<b>MI1, MI5, MI7</b>
<b>ΔΡ5</b>	<b>MI8</b>
<b>ΔΡ6</b>	<b>MI1, MI5, MI7</b>
<b>ΔΡ7</b>	<b>MI8</b>
<b>ΔΡ8</b>	<b>MI5</b>
<b>ΔΡ9</b>	<b>MI7</b>
<b>ΔΡ10</b>	<b>MI1, MI5, MI7</b>
<b>ΔΡ11</b>	<b>MI8</b>

Σύμφωνα με τους Stevens et al (2009), για καθεμία από τις μεγάλες ιδέες που χρησιμοποιήσαμε προβάλλονται κάποια αναμενόμενα μαθησιακά αποτελέσματα. Στην συνέχεια ακολουθεί μία σύντομη περιγραφή τους.

Για την MI1, οι μαθητές αναμένεται να κατανοήσουν ότι:

- για να γνωρίζουν το μέγεθος ενός αντικειμένου, είναι απαραίτητο να είναι σε θέση να το συγκρίνουν με ένα μέγεθος αναφοράς. Σημαντικός εδώ είναι ο προσδιορισμός των μονάδων μέτρησης για τη σύγκριση των διάφορων αντικειμένων/ποσοτήτων. Επιπλέον, καλούνται να κάνουν μετρήσεις και να χρησιμοποιούν μία κλίμακα για να καθορίζουν το μέγεθος των αντικειμένων στις εικόνες ή τις διάφορες αποστάσεις μέσα σ' αυτές.

- ορισμένες κλίμακες είναι πολύ μικρές για να τις παρατηρήσουν με γυμνό μάτι, όπως η μικροκλίμακα, η νανοκλίμακα, η ατομική και μοριακή κλίμακα. Σε αυτές απαιτούνται ειδικά εργαλεία.
- το μέγεθος ενός αντικειμένου μπορεί να εκπροσωπείται με πολλούς τρόπους, τόσο ποιοτικά όσο και ποσοτικά. Κάθε παράσταση έχει πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα ανάλογα με το σκοπό.
- οι αλλαγές στην κλίμακα μπορούν να επηρεάσουν τον τρόπο με τον οποίο λειτουργούν τα φαινόμενα.
- η αναλογία επιφάνειας / όγκου (S/V) ενός αντικειμένου εξαρτάται από το μέγεθος και το σχήμα του.

Για την MI5, οι μαθητές αναμένεται να κατανοήσουν ότι:

- ο λόγος επιφάνειας προς όγκο αυξάνεται καθώς το μέγεθος ενός αντικειμένου γίνεται μικρότερο. Ως αποτέλεσμα, καθώς το μέγεθος ενός αντικειμένου προσεγγίζει τη νανοκλίμακα, το κλάσμα των ατόμων στην επιφάνεια αυξάνεται δραματικά και οι ιδιότητες που σχετίζονται με την επιφάνεια γίνονται πιο σημαντικές. Ακόμη και στη μακροσκοπική κλίμακα, μπορεί να παρατηρηθεί η επίδραση της αυξημένης επιφάνειας με τη μείωση του μεγέθους. Για παράδειγμα, με θραύση ενός δισκίου σε μικρότερα κομμάτια, ο ρυθμός διάλυσης αυξάνεται.
- μερικές από τις χαρακτηριστικές ιδιότητες της ύλης αλλάζουν με το μέγεθος, ιδιαίτερα καθώς η κλίμακα μήκους του δείγματος μειώνεται και πλησιάζει την ατομική κλίμακα.
- το σχήμα των δομών νανοκλίμακας μπορεί να οδηγήσει σε μοναδικές ιδιότητες. Για παράδειγμα, ένα διάλυμα σφαιρικών νανοσωματιδίων αργύρου είναι μπλε, ενώ τα τετραγωνικά σωματίδια παρόμοιου μεγέθους δημιουργούν ένα κόκκινο διάλυμα και τα πενταγωνικά σωματίδια είναι ένα πράσινο διάλυμα.

Για την MI7, οι μαθητές αναμένεται να κατανοήσουν ότι:

- εξειδικευμένα εργαλεία απαιτούνται για την ανίχνευση, μέτρηση και διερεύνηση της νανοκλίμακας, διότι οι δομές σε αυτή την κλίμακα είναι πολύ μικρές για να τις δούμε με οπτικά μικροσκόπια. Για να παρατηρηθεί ένα αντικείμενο, το μήκος κύματος της ακτινοβολίας πρέπει να είναι περίπου το ίδιο μέγεθος ή μικρότερο από το ίδιο το αντικείμενο (τα οπτικά μικροσκόπια είναι χρήσιμα μόνο για την παρατήρηση αντικειμένων μεγαλύτερων από  $0,2 \mu\text{m}$  ( $2 \times 10^{-7} \text{m}$ )).
- οι επιστήμονες και οι μηχανικοί έχουν αναπτύξει εξειδικευμένα εργαλεία και τεχνικές για τον χειρισμό, την απομόνωση και την κατασκευή δομών νανοκλίμακας. Οι άνθρωποι μπορούν εύκολα να χρησιμοποιήσουν τα χέρια

τους για να χτίσουν μια δομή χρησιμοποιώντας τούβλα. Εάν τα δομικά στοιχεία είναι πολύ μεγάλα (π.χ. δοκοί χάλυβα, μπλοκ από σκυρόδεμα), απαιτούνται ειδικά εργαλεία ή μηχανήματα για να τα χειριστούν. Ομοίως, όταν τα δομικά στοιχεία είναι πολύ μικρά, χρειάζονται ειδικά εργαλεία για να τα χειριστούν με ελεγχόμενο τρόπο.

- παρόλο που ο κόσμος της νανοκλίμακας υπήρξε πάντα στη φύση, οι επιστήμονες και οι μηχανικοί δεν μπόρεσαν να τον μελετήσουν ή να κατασκευάσουν νέες δομές νανοκλίμακας μέχρις ότου οι τεχνολογικές εξελίξεις επέτρεπαν την ανάπτυξη πολύ εξειδικευμένων και ευαίσθητων εργαλείων.
- τα εργαλεία που χρησιμοποιούνται για τη μελέτη ή/και τον χειρισμό δομών νανοκλίμακας αλληλεπιδρούν με μεμονωμένα άτομα ή με σωματίδια νανοκλίμακας μέσω ηλεκτρικών δυνάμεων. Ενώ τα οπτικά μικροσκόπια διευρύνουν την αίσθηση της όρασης τα μικροσκόπια ανίχνευσης σάρωσης επεκτείνουν την αίσθηση της αφής.

Για την ΜΙ8, οι μαθητές αναμένεται να κατανοήσουν ότι:

- κάθε μοντέλο έχει περιορισμούς στην ακρίβεια και τη χρησιμότητά του. Ειδικά μοντέλα έχουν σχεδιαστεί για να καταστήσουν εμφανείς συγκεκριμένες πτυχές φαινομένων στη νανοκλίμακα και στη μοριακή και ατομική κλίμακα.
- διάφοροι τύποι μοντέλων (φυσικοί, υπολογιστικοί, μαθηματικοί) χρησιμοποιούνται για να μας βοηθήσουν να κατανοήσουμε καλύτερα, να κάνουμε προβλέψεις και να δημιουργήσουμε ερωτήματα σχετικά με τη δομή και τη συμπεριφορά της ύλης στη μακρο-, μικρο- και νανοκλίμακα.

Για την ΜΙ9, οι μαθητές αναμένεται να κατανοήσουν ότι:

- η επιστήμη και η τεχνολογία της νανοκλίμακας (N-ET) είναι μια απεικόνιση της δυναμικής φύσης της επιστημονικής πρόοδου και της ανάπτυξης της τεχνολογίας. Η επιστήμη δεν είναι ένα στατικό σύνολο γεγονότων, αλλά μια δυναμική διαδικασία οικοδόμησης γνώσης για το πώς λειτουργεί ο φυσικός κόσμος.
- οι επιστήμονες, οι μηχανικοί, οι κυβερνήσεις, οι επιχειρήσεις και οι πολίτες λαμβάνουν αποφάσεις που επηρεάζουν την πρόοδο της επιστήμης και της τεχνολογίας και το πως ενσωματώνονται οι νέες τεχνολογίες στην κοινωνία.
- η επιστημονική πρόοδος, ακόμα και μια επιστημονική ανακάλυψη ή νέα εφεύρεση, μπορεί να προκαλέσει εκτεταμένες αλλαγές στην επιστημονική σκέψη ή/και να συμβάλει σε αλλαγές σε πολλές πτυχές της κοινωνίας.
- οι νανοδομές πρέπει να αξιολογούνται από άποψη κινδύνων και ωφελειών για την ανθρώπινη υγεία και το περιβάλλον. Επειδή πρόκειται για νέα υλικά,

τα αποτελέσματά τους μπορεί να μην είναι εμφανή για κάποιο χρονικό διάστημα.

#### 2.4.2 Σχεδιασμός δραστηριοτήτων

Η διδακτική παρέμβαση που σχεδιάστηκε αφορά τη μελέτη του φαινομένου της υπέρ-υδροφοβικότητας μέσα από την υλοποίηση 11 δραστηριοτήτων διερευνητικής κατεύθυνσης, οι οποίες περιλαμβάνουν πειραματισμό με απλά υλικά, χρήση λογισμικών, επεξεργασία φωτογραφιών, σχεδιασμό αναπαραστάσεων της δομής της επιφάνειας των υπέρ-υδρόφοβων επιφανειών. Στον Πίνακα 2 περιγράφονται συνοπτικά οι μεγάλες ιδέες και οι στόχοι ανά δραστηριότητα.

Στη συνέχεια παρουσιάζονται οι 3 θεματικές ενότητες (μία ανά δίωρο) στις οποίες εντάσσονται 11 δραστηριότητες.

*Θεματική Ενότητα 1: Διερευνώντας τα υπέρ-υδρόφοβα υλικά (1<sup>ο</sup> δίωρο) - Δραστηριότητες 1, 2, 3:*

Οι στόχοι της 1<sup>ης</sup> ενότητας είναι:

- Οι μαθητές να κατανοήσουν ότι: Η επιστήμη και η τεχνολογία της νανοκλίμακας (N-ET) είναι μια απεικόνιση της δυναμικής φύσης της επιστημονικής προόδου και της ανάπτυξης της τεχνολογίας.
- Οι μαθητές να είναι ικανοί να μετρούν τη γωνία επαφής (κλασικό μοιρογνωμόνιο – λογισμικό) και να τη συνδέουν με την υπέρ-υδροφοβικότητα των διάφορων υλικών και φύλλων.
- Οι μαθητές να κατανοήσουν ότι: Διάφοροι τύποι μοντέλων (φυσικοί, υπολογιστικοί, μαθηματικοί) χρησιμοποιούνται για να μας βοηθήσουν να κατανοήσουμε καλύτερα, να κάνουμε προβλέψεις και να δημιουργήσουμε ερωτήματα σχετικά με τη δομή και τη συμπεριφορά της ύλης στη μακρο-, μικρο- και νανοκλίμακα.

Αρχικά οι μαθητές καλούνται να συζητήσουν το ερώτημα: «Ο Κώστας συζητά με την Ελένη για το πώς θα παίξουν μπουγέλο την τελευταία μέρα στο σχολείο. Η Ελένη πρότεινε να σκεφτούν έναν τρόπο ώστε να βραχούν το λιγότερο δυνατό. Πώς θα μπορούσαν να επιτύχουν αυτό το σκοπό; Γράψτε τις προτάσεις σας!». Κάθε ομάδα συζητά και καταγράφει τις προτάσεις της και στην συνέχεια τις παρουσιάζει κάθε ομάδα στην τάξη. Οι απαντήσεις των μαθητών καταγράφονται στον πίνακα της τάξης και ακολουθεί συζήτηση σχετικά με τις προτάσεις της κάθε ομάδας.

Στη συνέχεια στη δραστηριότητα 1 (εικόνα 1), οι μαθητές πειραματίζονται με διάφορα υλικά (φύλλα ακακίας και μαρουλιού, ξύλα και υφάσματα), καταγράφουν ποια από αυτά βρέχονται και περιγράφουν το σχήμα που παίρνει η σταγόνα σε κάθε υλικό. Επιπλέον, καλούνται να εκφράσουν την άποψή τους στο ερώτημα:

«γιατί νομίζετε ότι στα υλικά που δεν βρέχονται, η σταγόνα έχει το ίδιο σχήμα; Μπορείτε να σχεδιάσετε την απάντησή σας».

Η δραστηριότητα τελειώνει αφού συζητήσουν στην τάξη οι ομάδες για τις απαντήσεις που έδωσαν και προβληματιστούν για το σχήμα που παίρνει η σταγόνα του νερού στα διάφορα υλικά και πώς αυτό θα μπορούσε να φανεί χρήσιμο σε υλικά της καθημερινής τους ζωής. Μέσα από τη συζήτηση η εκπαιδευτικός αναφέρει ότι οι επιστήμονες μελέτησαν και μιμήθηκαν τη συμπεριφορά του λωτού (ακακίας), ώστε να ικανοποιήσουν την ανάγκη των ανθρώπων για επιφάνειες που δεν βρέχονται, δεν λερώνονται και αυτοκαθαρίζονται.

Στη δραστηριότητα 2, προσεγγίζεται η «γωνίας επαφής», η οποία είναι η γωνία που σχηματίζεται μεταξύ της επιφάνειας του στερεού και της εφαπτόμενης της σταγόνας στο σημείο που έρχεται σε επαφή με το στερεό (εικόνες 2, 3). Οι μαθητές παρατηρούν φωτογραφίες που απεικονίζουν σταγόνες πάνω σε υπέρ-υδρόφοβες επιφάνειες και μετρούν τη γωνία επαφής με δύο τρόπους, με το παραδοσιακό μοιρογνωμόνιο αλλά και με το λογισμικό «OnScreenProtactor»<sup>1</sup>. Στη συνέχεια, αναγνωρίζουν τα υπέρ-υδρόφοβα υλικά για τα οποία βρήκαν τη γωνία επαφής  $\theta \geq 150^\circ$  και διαπιστώνουν ότι πέρα από την παρατήρηση με γυμνό μάτι του σχήματος της σταγόνας, μπορούν να αναγνωρίσουν τι υλικό έχουν (υπέρ-υδρόφιλο, υδρόφιλο, υδρόφοβο, υπέρ-υδρόφοβο), μετρώντας τη γωνία επαφής. Στο τέλος της δραστηριότητας, οι μαθητές μετρούν τη γωνία επαφής στο φύλλο του λωτού και διαπιστώνουν ότι είναι υπέρ-υδροφοβικό, έπειτα δίνονται από την εκπαιδευτικό πληροφορίες και εικόνες για το διάσημο φυτό, τον ασιατικό λωτό, με τις σημαντικές ιδιότητες της μη διαβροχής και του αυτοκαθαρισμού.

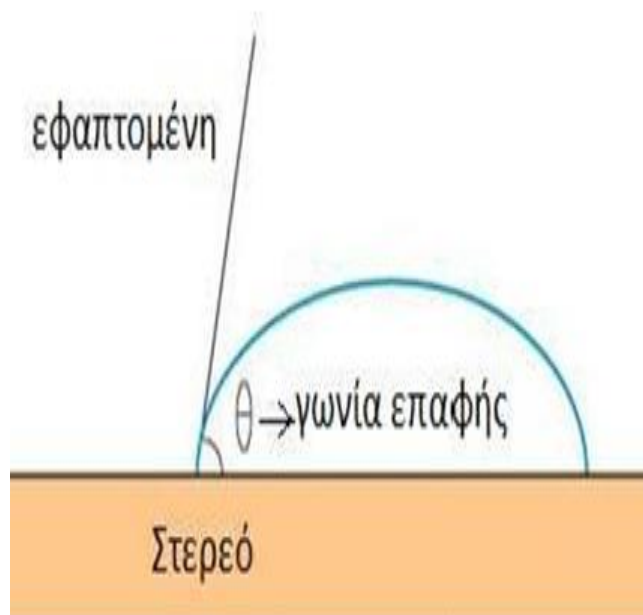
Ακολουθεί η δραστηριότητα 3, όπου ζητείται από τους μαθητές να αναπαραστήσουν με ένα σκίτσο την επιφάνεια ενός υπέρ-υδρόφοβου υλικού όπως είναι ο λωτός.

---

<sup>1</sup><https://sourceforge.net/projects/osprotractor>



Εικόνα 13: Δραστηριότητα 1



Εικόνα 14: Γωνία επαφής<sup>2</sup>

<sup>2</sup><https://www.scienceinschool.org/el/2011/issue18/biomimetics>



Εικόνα 15: Εικόνα δραστηριότητας 2<sup>3</sup>

Θεματική Ενότητα 2: Το φαινόμενο του Λωτού (2<sup>ο</sup> δίωρο) - Δραστηριότητες 4, 5, 6,7:

Οι στόχοι της 2<sup>ης</sup> ενότητας είναι:

- Οι μαθητές να είναι ικανοί να επεξεργάζονται εικόνες ηλεκτρονικού μικροσκοπίου, να χρησιμοποιούν λογισμικό και να μετρούν αποστάσεις μικροπροεξοχών χρησιμοποιώντας τις κατάλληλες μονάδες μέτρησης.
- Οι μαθητές να κατανοήσουν ότι: Ορισμένες κλίμακες είναι πολύ μικρές για να τις παρατηρήσουν με γυμνό μάτι, όπως η μικροκλίμακα, η νανοκλίμακα, η ατομική και μοριακή κλίμακα.
- Οι μαθητές να κατανοήσουν ότι: Μερικές από τις χαρακτηριστικές ιδιότητες της ύλης αλλάζουν με το μέγεθος, ιδιαίτερα καθώς η κλίμακα μήκους του δείγματος μειώνεται και πλησιάζει την ατομική κλίμακα.
- Οι μαθητές να κατανοήσουν ότι: Εξειδικευμένα εργαλεία απαιτούνται για την ανίχνευση, μέτρηση και διερεύνηση της νανοκλίμακας, διότι οι δομές σε αυτή την κλίμακα είναι πολύ μικρές για να τις δούμε με οπτικά μικροσκόπια.
- Οι μαθητές να κατανοήσουν ότι: Παρόλο που ο κόσμος της νανοκλίμακας υπήρξε πάντα στη φύση, οι επιστήμονες και οι μηχανικοί δεν μπόρεσαν να τον μελετήσουν ή να κατασκευάσουν νέες δομές νανοκλίμακας μέχρις ότου οι τεχνολογικές εξελίξεις επέτρεπαν την ανάπτυξη πολύ εξειδικευμένων και ευαίσθητων εργαλείων.
- Οι μαθητές να κατανοήσουν ότι: Διάφοροι τύποι μοντέλων (φυσικοί, υπολογιστικοί, μαθηματικοί) χρησιμοποιούνται για να μας βοηθήσουν να κατανοήσουμε καλύτερα, να κάνουμε προβλέψεις και να δημιουργήσουμε ερωτήματα σχετικά με τη δομή και τη συμπεριφορά της ύλης στη μακρο-, μικρο- και νανοκλίμακα.

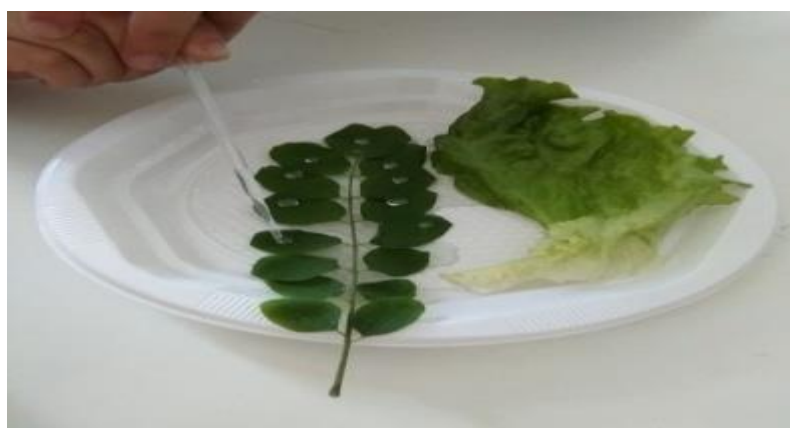
Ξεκινώντας τη δεύτερη ενότητα οι μαθητές καλούνται να συζητήσουν το ερώτημα: «γιατί οι σταγόνες του νερού είναι σφαιρικές στα υπερ-υδρόφοβα υλικά;» (εικόνα

<sup>3</sup><http://www.pinkjooz.com/index.php/tag/superhydrophobicity>

4), να μελετήσουν πηγές (φωτογραφίες, βίντεο κτλ.) σχετικές με την επιφάνεια των υλικών αυτών και να εξετάσουν το πώς είναι οι επιφάνειες των υπέρ-υδρόφοβων υλικών. Συγκεκριμένα στην αρχή οι μαθητές παρακολουθούν το βίντεο «zoominalotusleaf», όπου ξεκινώντας από τη μακροκλίμακα και την παρατήρηση του φύλλου του λωτού με γυμνό μάτι, εισέρχεται στην μικροκλίμακα και στην παρατήρηση του φύλλου με το οπτικό μικροσκόπιο, ενώ στο τέλος περνάει στην νανοκλίμακα και στην παρατήρηση του φύλλου με το ηλεκτρονικό μικροσκόπιο. Οι μαθητές παρακολουθούν το βίντεο μέχρι το σημείο που προβάλλονται οι μικροπροεξοχές στην επιφάνεια του φύλλου του λωτού με τη χρήση του ηλεκτρονικού μικροσκοπίου. Επιπλέον, δίνονται πληροφορίες και εικόνες για το ηλεκτρονικό μικροσκόπιο και τη χρήση του από την εκπαιδευτικό.

Στη δραστηριότητα 4, που ακολουθεί, οι μαθητές επεξεργάζονται φωτογραφίες της επιφάνειας του φύλλου του λωτού από ηλεκτρονικό μικροσκόπιο. Συγκεκριμένα μετράνε την απόσταση μεταξύ των κορυφών στις μικροπροεξοχές στην επιφάνεια του φύλλου του λωτού με το λογισμικό «onlineruler»<sup>4</sup> (εικόνα 5). Εδώ οι μαθητές μετράνε πόσα pixel χωράνε στις διάφορες αποστάσεις στην εικόνα και με τη μέθοδο των τριών τα μετατρέπουν σε μm. Επίσης χρειάζεται να σημειωθεί ότι οι εικόνες από το μικροσκόπιο που είχαν να επεξεργαστούν οι μαθητές ήταν με προοπτική (όχι από πάνω), έτσι έπρεπε να επιλεγούν οι κατάλληλες κορυφές και να πάρουν περισσότερες μετρήσεις ώστε να αποφευχθεί κάποιο λάθος στην μέτρηση.

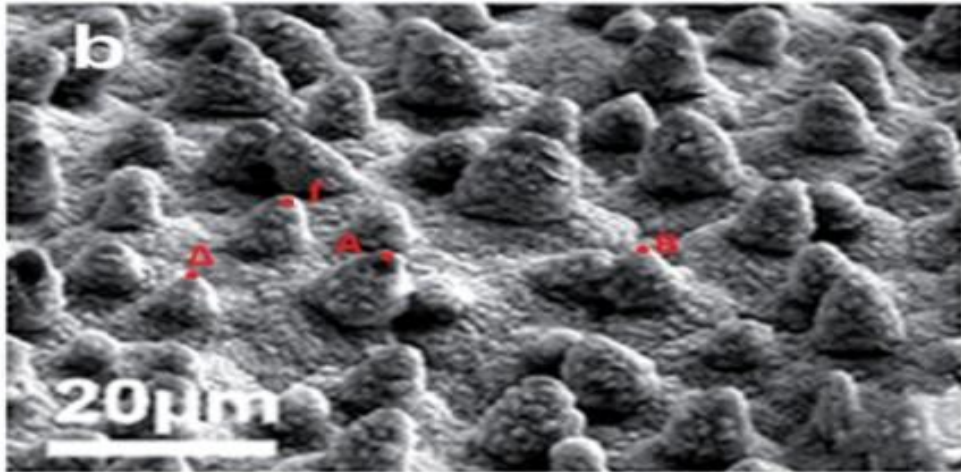
Προχωρώντας στη δραστηριότητα 5, ζητείται από τους μαθητές να αλλάξουν το αρχικό τους σκίτσο (δραστηριότητα 3) σύμφωνα με τις νέες πληροφορίες που έχουν συγκεντρώσει.



Εικόνα 16: Φύλλα ακακίας-μαρουλιού

<sup>4</sup><https://www.rapidtables.com/web/tools/pixel-ruler.html>





Εικόνα 17: Μικροπροεξοχές στο φύλλο του λωτού<sup>5</sup>

Στη δραστηριότητα 6, οι μαθητές συνεχίζουν την παρακολούθηση του βίντεο «zoominalotusleaf»<sup>6</sup>, όπου γίνεται μεγαλύτερο ζουμ πάνω στις μικροπροεξοχές του φύλλου και παρατηρούν τι συμβαίνει στη νανοδομή της επιφάνειας του φύλλου του λωτού. Στο πλαίσιο αυτής της δραστηριότητας η εκπαιδευτικός δείχνει στους μαθητές εικόνες και μοντέλα όπου φαίνεται η μικρο και νάνο δομή της επιφάνειας του φύλλου του λωτού. Επίσης, κάνει επίδειξη ένα πείραμα με σύριγγα σε κάθε ομάδα, στο οποίο οι μαθητές παρατηρούν το σχήμα που έχει η σταγόνα που κρέμεται από τη σύριγγα, και προκαλείται μία συζήτηση στην τάξη για την σημασία του αέρα στο σφαιρικό σχήμα της σταγόνας αλλά και για τα λίγα σημεία επαφής με την επιφάνεια.

Τέλος, στη δραστηριότητα 7, καλούνται να αλλάξουν και πάλι το προηγούμενο σκίτσο τους με βάση τις νέες πληροφορίες.

*Θεματική Ενότητα 3: Λωτός και Τριαντάφυλλο (3<sup>ο</sup> δίωρο) - Δραστηριότητες 8, 9, 10,11 :*

Οι στόχοι της 3<sup>ης</sup> ενότητας είναι:

- Οι μαθητές να κατανοήσουν ότι: Μερικές από τις χαρακτηριστικές ιδιότητες της ύλης αλλάζουν με το μέγεθος, ιδιαίτερα καθώς η κλίμακα μήκους του δείγματος μειώνεται και πλησιάζει την ατομική κλίμακα.
- Οι μαθητές να είναι ικανοί να μετρούν τη γωνία επαφής (κλασικό μοιρογνωμόνιο – λογισμικό) και να τη συνδέουν με την υπέρ-υδροφοβικότητα των διάφορων φύλλων.

<sup>5</sup>Φωτογραφία από την πηγή: Lietal., (2017).

<sup>6</sup><https://www.youtube.com/watch?v=X9a6LjCprC8&t=6s>

- Οι μαθητές να είναι ικανοί να επεξεργάζονται εικόνες ηλεκτρονικού μικροσκοπίου, να χρησιμοποιούν λογισμικό και να μετρούν αποστάσεις μικροπροεξοχών χρησιμοποιώντας τις κατάλληλες μονάδες μέτρησης.
- Οι μαθητές να κατανοήσουν ότι: Ορισμένες κλίμακες είναι πολύ μικρές για να τις παρατηρήσουν με γυμνό μάτι, όπως η μικροκλίμακα, η νανοκλίμακα, η ατομική και μοριακή κλίμακα.
- Οι μαθητές να κατανοήσουν ότι: Μερικές από τις χαρακτηριστικές ιδιότητες της ύλης αλλάζουν με το μέγεθος, ιδιαίτερα καθώς η κλίμακα μήκους του δείγματος μειώνεται και πλησιάζει την ατομική κλίμακα.
- Οι μαθητές να κατανοήσουν ότι: Εξειδικευμένα εργαλεία απαιτούνται για την ανίχνευση, μέτρηση και διερεύνηση της νανοκλίμακας, διότι οι δομές σε αυτή την κλίμακα είναι πολύ μικρές για να τις δούμε με οπτικά μικροσκόπια.
- Οι μαθητές να κατανοήσουν ότι: Παρόλο που ο κόσμος της νανοκλίμακας υπήρξε πάντα στη φύση, οι επιστήμονες και οι μηχανικοί δεν μπόρεσαν να τον μελετήσουν ή να κατασκευάσουν νέες δομές νανοκλίμακας μέχρις ότου οι τεχνολογικές εξελίξεις επέτρεπαν την ανάπτυξη πολύ εξειδικευμένων και ευαίσθητων εργαλείων.
- Οι μαθητές να κατανοήσουν ότι: Διάφοροι τύποι μοντέλων (φυσικοί, υπολογιστικοί, μαθηματικοί) χρησιμοποιούνται για να μας βοηθήσουν να κατανοήσουμε καλύτερα, να κάνουμε προβλέψεις και να δημιουργήσουμε ερωτήματα σχετικά με τη δομή και τη συμπεριφορά της ύλης στη μακρο-, μικρο- και νανοκλίμακα.

Στην τρίτη και τελευταία ενότητα, οι μαθητές συνεχίζοντας τη μελέτη στα υπέρ-υδρόφοβα υλικά, θα πειραματιστούν με το τριαντάφυλλο και θα προσπαθήσουν να λύσουν το μυστήριο στη συμπεριφορά της σταγόνας πάνω του.

Ξεκινώντας με τη δραστηριότητα 8, οι μαθητές πειραματίζονται ρίχνοντας σταγόνες νερού πάνω στα φύλλα της ακακίας (σαν λωτός) και του τριαντάφυλλου (εικόνα 6). Καταγράφουν τόσο το σχήμα που παίρνουν οι σταγόνες όσο και τη συμπεριφορά τους όταν κινούμε τα φύλλα (εικόνα 7).



Εικόνα 18: Φύλλα ακακίας-πέταλα τριαντάφυλλου



Εικόνα 19: Σταγόνα «κολλημένη» σε πέταλο τριαντάφυλλου

Συνεχίζοντας, στη δραστηριότητα 9, δίνονται δύο εικόνες όπου φαίνονται οι σταγόνες του νερού πάνω στο φύλλο του λωτού και στο πέταλο του τριαντάφυλλου. Οι μαθητές καλούνται να μετρήσουν τις γωνίες επαφής σε κάθε φύλλο (εικόνα 8). Και με αυτόν τον τρόπο θα δώσουν μία σίγουρη απάντηση για το αν τα δύο αυτά φύλλα είναι υπέρ-υδρόφοβα.

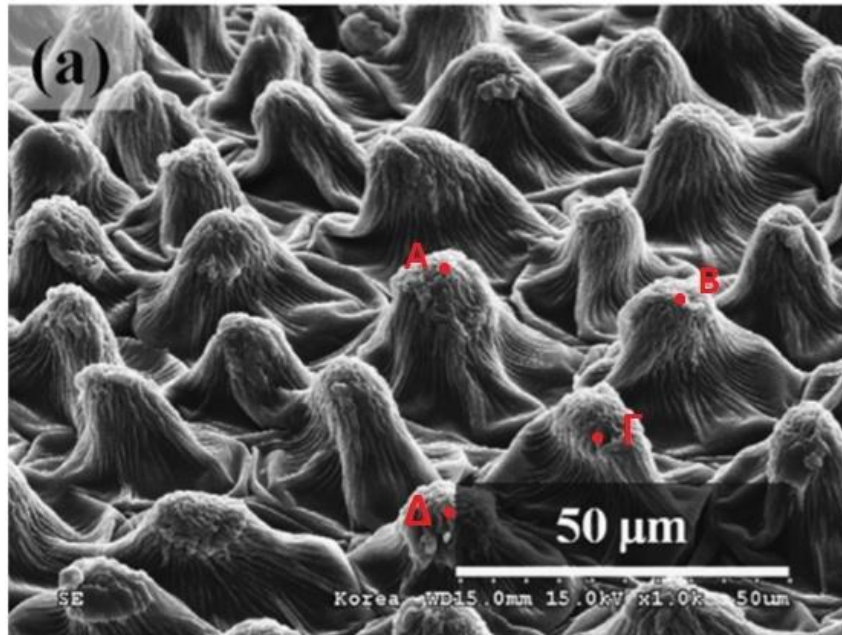


**Εικόνα 20: Φωτογραφίες για μέτρηση γωνιών επαφής<sup>7</sup>**

Στην δραστηριότητα 10, οι μαθητές επεξεργάζονται φωτογραφίες από ηλεκτρονικό μικροσκόπιο από την επιφάνεια του φύλλου του τριαντάφυλλου. Με τη βοήθεια του λογισμικού «onlineruler» τους ζητείται να μετρήσουν την απόσταση των μικροπροεξοχών στο φύλλο του τριαντάφυλλου και να τις συγκρίνουν με τις αντίστοιχες μετρήσεις που έκαναν για το φύλλο του λωτού στο δεύτερο δίωρο. Οι μαθητές εδώ δουλεύουν με τον ίδιο τρόπο που περιγράψαμε στην δραστηριότητα 4 και παίρνουν τις αντίστοιχες μετρήσεις για το πέταλο του τριαντάφυλλου.

---

<sup>7</sup>[http://www.nelumbolotus.com/en\\_education\\_05.asp](http://www.nelumbolotus.com/en_education_05.asp)  
<https://arstechnica.com/science/2008/05/the-superhydrophobic-properties-of-rose-petals>



Εικόνα 21: Μικροπροεξοχές στο πέταλο του τριαντάφυλλου<sup>8</sup>

Το δίωρο τελειώνει με τη δραστηριότητα 11, όπου καλούνται να αναπαραστήσουν με σκίτσο την επιφάνεια δύο φύλλων και να σχεδιάσουν τη σταγόνα στα δύο σκίτσα που θα φτιάξουν. Τέλος, συζητάνε το ερώτημα «Ποιος είναι ο λόγος που η σταγόνα στη μία περίπτωση κυλάει ενώ στην άλλη μένει καρφωμένη;».

#### 2.4.3 Παρατηρήσεις Εκπαιδευτικής Παρέμβασης

Στο πρώτο ερώτημα για διερεύνηση, όπου οι μαθητές κλήθηκαν να γράψουν τις προτάσεις τους ώστε τα παιδιά από το παράδειγμα να βραχούν το λιγότερο δυνατό, οι ομάδες αφού συζήτησαν μεταξύ τους πρότειναν λύσεις όπως:

- «Να βάλουν αδιάβροχα ρούχα» (δημοφιλέστερη απάντηση)
- «Νεροπίστολα»
- «Να μην παίξουν»
- «Λίγο νερό γενικά»
- «Στολές νανοτεχνολογίας» (μία απάντηση)

Επίσης στο ερώτημα τι πρόκειται να ερευνήσουν η δημοφιλέστερη απάντηση ήταν «Τον τρόπο για να μην βραχούν», αλλά υπήρχαν και απαντήσεις όπως «Ποια υλικά είναι αδιάβροχα», «Πως να μην μένει το νερό πάνω στα αντικείμενα» και μία ομάδα ανέφερε «Το φαινόμενο του λωτού».

Στη διάρκεια της δραστηριότητας 1, οι μαθητές αφού πειραματίστηκαν με διάφορα φύλλα και άλλα υλικά, ρίχνοντας σταγόνες νερού πάνω τους συμπλήρωσαν έναν

<sup>8</sup>Φωτογραφία από την πηγή: Choo et al., (2014).

πίνακα και επέλεξαν ποια από αυτά δεν βρέχονται σχεδιάζοντας παράλληλα το σχήμα της σταγόνας σε κάθε υλικό. Όλες οι ομάδες συμπλήρωσαν σωστά τον πίνακα.

Παρατήρησε, σχεδίασε και στο τέλος σύγκρινε!

Χρησιμοποιώντας το σταγονόμετρο ρίξτε μερικές σταγόνες νερού πάνω στα φύλλα της ακακίας, του μαρουλιού, στο νάνο-ξύλο, στο απλό ξύλο, στο νάνο-ύφασμα, στο απλό ύφασμα, για να ελέγξετε ποια από τα παραπάνω υλικά δεν βρέχονται; Στη συνέχεια συμπλήρωσε τον πίνακα.

Υλικά	Δεν βρέχονται	Σχεδιάστε το σχήμα της σταγόνας
Φύλλο ακακίας	✓	○
Φύλλο μαρουλιού	-	Δεν υπάρχει σταγόνα
Νάνο-ξύλο	✓	○
Απλό ξύλο	-	Υπάρχει σχήμα αλλά κατασφραγίζεται
Νάνο-ύφασμα	✓	○
Απλό ύφασμα	-	Δεν υπάρχει σχήμα. Απορροφείται

Ποια υλικά δεν βρέχονται; Τι σχήμα έχουν οι σταγόνες στα υλικά αυτά;  
 Δεν βρέχονται τα φύλλα ακακίας, το νάνο-ξύλο και το νάνο-ύφασμα και δημιουργούνται σφαιρικές σταγόνες νερού.

Εικόνα 22: Παράδειγμα 1 από φύλλο εργασίας

Στη συνέχεια οι μαθητές καλούνταν να απαντήσουν στο ερώτημα «Ποια υλικά δεν βρέχονται και τι σχήμα έχουν οι σταγόνες στα υλικά αυτά;», όπου όλες οι ομάδες απάντησαν σωστά. Ενώ όταν τους ζητήθηκε να απαντήσουν στο ερώτημα «Γιατί στα υλικά που δεν βρέχονται η σταγόνα έχει το ίδιο σχήμα;» οι μαθητές έδωσαν τις ακόλουθες απαντήσεις ανά ομάδα:

- O1: «Επειδή η επιφάνεια των νανουλικών είναι πυκνή και δεν επιτρέπουν το νερό να τα διαπεράσουν»
- O2: «Τα νανοηλικά και τα φύλλα ακακίας δεν βρέχονται, διότι η επιφάνειά τους είναι πιο πυκνή και δεν επιτρέπει στο νερό να εισχωρήσει»
- O3: «Διότι τα υλικά μπορεί να είναι φτιαγμένα από διαφορετική τεχνολογία»
- O4: «Εξαιτίας της πυκνότητας»
- O5: «Γιατί ισχύει το φαινόμενο του λωτού» (αυτή η ομάδα είχε αναφέρει το φαινόμενο του λωτού στο πρώτο ερώτημα)
- O6: «Δεν απορροφάται γι' αυτό παίρνει αυτό το σχήμα»

- O7: «Γιατί δεν υσχορούν μέσα στο υλικό, αλλά απλά κυλούν πάνω του»
- O8: «Τα υλικά που δεν βρέχονται αποτελούνται από νανο-τριχίδια τα οποία είναι μικροσκοπικά και προκαλούν τον σχηματισμό κυκλικών σταγόνων»
- O9: «Γιατί δεν το απορροφά, οπότε σχηματίζονται κυκλάκια»
- O10: Δεν έδωσε εξήγηση

Γιατί νομίζετε ότι στα υλικά που δεν βρέχονται η σταγόνα έχει το ίδιο σχήμα;  
Μπορείτε να σχεδιάσετε την απάντησή σας

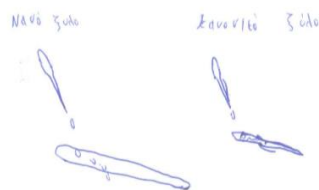
Οπότε η απάντηση σου είναι η επιφάνεια του υλικού είναι λείκη και δεν επιτρέπει στο νερό να διεισδεύσει



**Εικόνα 23: Παράδειγμα 2 από φύλλο εργασίας**

Γιατί νομίζετε ότι στα υλικά που δεν βρέχονται η σταγόνα έχει το ίδιο σχήμα;  
Μπορείτε να σχεδιάσετε την απάντησή σας

Τα υλικά και τα φύλλα ακόμα δεν βρέχονται, γιατί η επιφάνεια τους είναι λείκη και δεν επιτρέπει στο νερό να εισχωρήσει

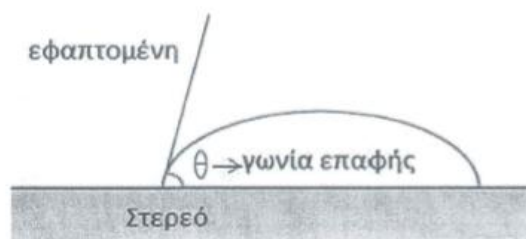


**Εικόνα 24: Παράδειγμα 3 από φύλλο εργασίας**

Στη δραστηριότητα 2, οι μαθητές αφού ενημερώθηκαν για τη γωνία επαφής και τα υπέρ-υδρόφοβα υλικά, μέτρησαν τη γωνία επαφής σε δύο υπέρ-υδρόφοβα υλικά και στο φύλλο του λωτού (για το οποίο στη συνέχεια τους δόθηκαν κάποιες επιπλέον πληροφορίες σχετικά με τις ιδιότητες υπέρ-υδροφοβικότητας και αυτοκαθαρισμού που αυτό διαθέτει).

Μέτρησαν τις γωνίες με κλασικό μοιρογνωμόνιο αλλά και με το λογισμικό «onScreenProtactor». Όλες οι ομάδες πήραν σωστές μετρήσεις ( $\geq 150^\circ$ ) και χαρακτήρισαν σωστά τα υλικά ως υπέρ-υδρόφοβα. Επιπλέον τους προκάλεσε μεγαλύτερο ενδιαφέρον όταν μέτρησαν με το λογισμικό και όταν ρωτήθηκαν από την ερευνήτρια-εκπαιδευτικό για το ποιον τρόπο από τους δύο προτιμάν και γιατί, όλες οι ομάδες επέλεξαν το λογισμικό και το αιτιολόγησαν επειδή ήταν πιο εύχρηστο και παρείχε μεγαλύτερη ακρίβεια στις μετρήσεις.

Ας μετρήσουμε με δύο τρόπους τη γωνία επαφής σε τρία υπερ-υδρόφοβα υλικά.



Πρώτη μέτρηση: μοιρογνωμόνιο

Παρακάτω βλέπετε 2 φωτογραφίες από υπερ-υδρόφοβες επιφάνειες. Με το μοιρογνωμόνιό σας μετρήστε τις γωνίες επαφής και συμπληρώστε τον πίνακα που ακολουθεί.

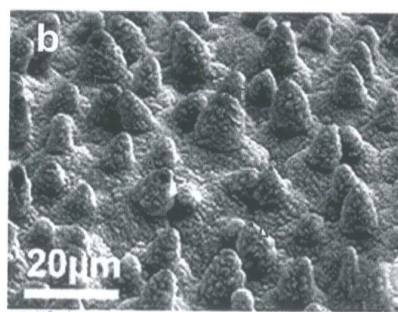
Α/Α Επιφάνειας	Είδος Υλικού	Γωνία Επαφής
1	Υπερ-υδρόφοβη Νανο-υφάσμα	155°
2	Υπερ-υδρόφοβη Νανο-ξύλο	151°

**Εικόνα 25: Παράδειγμα 4 από φύλλο εργασίας**

Στη δραστηριότητα 3, οι μαθητές έκαναν ατομικά τις πρώτες αναπαραστάσεις του φύλλου του λωτού τις οποίες θα αναλύσουμε στη συνέχεια.

Στη δραστηριότητα 4, οι μαθητές αφού παρακολούθησαν το βίντεο «zoominalotusleaf», επεξεργάστηκαν εικόνες ηλεκτρονικού μικροσκοπίου και με τη βοήθεια του λογισμικού «onlineruler» μέτρησαν πόσο απέχουν οι μικροπροεξοχές στον υπέρ-υδρόφοβο λωτό. Όλες οι ομάδες έκαναν σωστά τη διαδικασία πήραν τις σωστές μετρήσεις, έκαναν μετατροπές και βγάζοντας το μέσο όρο κατέληξαν στο αποτέλεσμα.

Ας μετρήσουμε την απόσταση μεταξύ των κορυφών στις μικροπροεξοχές στην επιφάνεια του φύλλου του λωτού με το λογισμικό «onlineruler».



Εικόνα: Φωτογραφία φύλλου λωτού από ηλεκτρονικό μικροσκόπιο



Συμπληρώστε τον πίνακα που ακολουθεί.

Μικροδομή	Αριθμός pixels	Απόσταση σε μm
Απόσταση μικροπροεξοχών ΑΒ	147 pixels	$\frac{90-x}{133} = \frac{x}{147}$ , $x = 99,1 \mu\text{m}$
Απόσταση μικροπροεξοχών ΑΓ	135 pixels	$\frac{90-x}{133} = \frac{x}{135}$ , $x = 90,3 \mu\text{m}$
Απόσταση μικροπροεξοχών ΑΔ	141 pixels	$\frac{90-x}{133} = \frac{x}{141}$ , $x = 91,9 \mu\text{m}$

Ας βγάλουμε το μέσο όρο της απόστασης των μικροπροεξοχών.....  $91,9 \mu\text{m}$  ή 141 pixels.

### Εικόνα 26: Παράδειγμα 5 από φύλλο εργασίας

Στη δραστηριότητα 5, οι μαθητές έκαναν ατομικά τις δεύτερες αναπαραστάσεις του φύλλου του λωτού τις οποίες θα αναλύσουμε στη συνέχεια.

Στη δραστηριότητα 6, οι μαθητές αφού συνέχισαν την παρακολούθηση του βίντεο «zoominalotusleaf», παρατήρησαν τη νανοδομή της επιφάνειας του λωτού, είδαν φωτογραφίες και προβληματίστηκαν για το σχήμα της σταγόνας κάνοντας το πείραμα με τη σύριγγα.

Στη δραστηριότητα 7, οι μαθητές έκαναν ατομικά τις τρίτες αναπαραστάσεις του φύλλου του λωτού τις οποίες θα αναλύσουμε στη συνέχεια.

Στη δραστηριότητα 8, οι μαθητές πειραματίζονται με φύλλα ακακίας και τριαντάφυλλου, ρίχνοντας σταγόνες νερού πάνω τους και κουνώντας τα φύλλα, καλούνται να συμπληρώσουν έναν πίνακα όπου κατέγραφαν το σχήμα της σταγόνας στα δύο φύλλα και τη συμπεριφορά της καθώς κουνούσαν τα φύλλα. Όλες οι ομάδες συμπλήρωσαν σωστά τον πίνακα.

Παρατήρησε, σχεδίασε και στο τέλος σύγκρινε!

Χρησιμοποιώντας το σταγονόμετρο ρίξε μερικές σταγόνες νερού πάνω στα φύλλα της ακακίας (σαν λωτός) και του τριαντάφυλλου. Στη συνέχεια συμπλήρωσε τον πίνακα.

Υλικά	Σχεδιάστε το σχήμα της σταγόνας	Περιέγραψε τη συμπεριφορά της σταγόνας καθώς κουνάς τα φύλλα
Φύλλο ακακίας		Όταν μετακινώ το φύλλο η σταγόνα κινείται.
Φύλλο τριαντάφυλλου		Όταν κουνάμε το φύλλο η σταγόνα πέφτει ακινητά.

### Εικόνα 27: Παράδειγμα 6 από φύλλο εργασίας

Παρατήρησε, σχεδίασε και στο τέλος σύγκρινε!

Χρησιμοποιώντας το σταγονόμετρο ρίξε μερικές σταγόνες νερού πάνω στα φύλλα της ακακίας (σαν λωτός) και του τριαντάφυλλου. Στη συνέχεια συμπλήρωσε τον πίνακα.

Υλικά	Σχεδιάστε το σχήμα της σταγόνας	Περιέγραψε τη συμπεριφορά της σταγόνας καθώς κουνάς τα φύλλα
Φύλλο ακακίας		Κυλάει, ενώ διατηρεί το σφαιρικό σχήμα.
Φύλλο τριαντάφυλλου		Μένει σταθερή ακόμα και αν το αναποδογυρίσω.

### Εικόνα 29: Παράδειγμα 8 από φύλλο εργασίας

Παρατήρησε, σχεδίασε και στο τέλος σύγκρινε!

Χρησιμοποιώντας το σταγονόμετρο ρίξε μερικές σταγόνες νερού πάνω στα φύλλα της ακακίας (σαν λωτός) και του τριαντάφυλλου. Στη συνέχεια συμπλήρωσε τον πίνακα.

Υλικά	Σχεδιάστε το σχήμα της σταγόνας	Περιέγραψε τη συμπεριφορά της σταγόνας καθώς κουνάς τα φύλλα
Φύλλο ακακίας		Μέμφρει.
Φύλλο τριαντάφυλλου		Κάθεται. (Αφού το χτυπάμε αναποδο γυρίζει)

### Εικόνα 28: Παράδειγμα 7 από φύλλο εργασίας

Παρατήρησε, σχεδίασε και στο τέλος σύγκρινε!

Χρησιμοποιώντας το σταγονόμετρο ρίξε μερικές σταγόνες νερού πάνω στα φύλλα της ακακίας (σαν λωτός) και του τριαντάφυλλου. Στη συνέχεια συμπλήρωσε τον πίνακα.

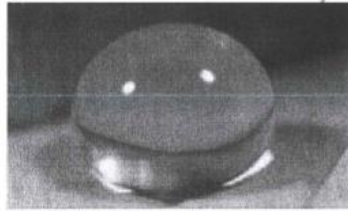
Υλικά	Σχεδιάστε το σχήμα της σταγόνας	Περιέγραψε τη συμπεριφορά της σταγόνας καθώς κουνάς τα φύλλα
Φύλλο ακακίας		Στο φύλλο ακακίας, η σταγόνα δεν μένει στο φύλλο, αντίθετα η σταγόνα ξεκολλάει.
Φύλλο τριαντάφυλλου		Στο φύλλο τριαντάφυλλου η σταγόνα μένει σταθερή.

### Εικόνα 30: Παράδειγμα 9 από φύλλο εργασίας

Στη δραστηριότητα 9, οι μαθητές μετράνε τη γωνία επαφής της σταγόνας πάνω στο φύλλο του λωτού και πάνω στο πέταλο του τριαντάφυλλου και χαρακτηρίζουν τις επιφάνειές τους. Όλες οι ομάδες πήραν και κατέγραψαν σωστά τις μετρήσεις (επέλεξαν να μετρήσουν τις γωνίες με το λογισμικό «onScreenProtactor»).

Στις εικόνες που ακολουθούν βλέπετε τις σταγόνες νερού πάνω στα φύλλα του λωτού και του τριαντάφυλλου. Ας μετρήσουμε τις γωνίες επαφής για κάθε φύλλο με το μοιρογνωμόνιο!

*Είναι τα δυο αυτά φύλλα υπερ-υδρόφοβα;*



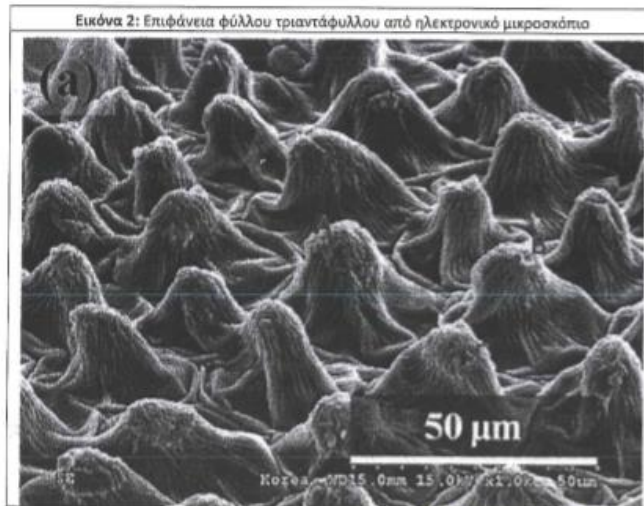
Μετρούμενη γωνία επαφής στο λωτό:  $163.56^\circ$



Μετρούμενη γωνία επαφής στο τριαντάφυλλο:  $167.11^\circ$

### Εικόνα 31: Παράδειγμα 10 από φύλλο εργασίας

Στη δραστηριότητα 10, οι μαθητές επανέλαβαν τη διαδικασία (επεξεργασία εικόνων ηλεκτρονικού μικροσκοπίου, μέτρηση αποστάσεων μικροπροεξοχών) που έκαναν στη δραστηριότητα 4 (με το φύλλο του λωτού). Αυτή τη φορά μέτρησαν με τη βοήθεια του λογισμικού «online ruler» πόσο απέχουν οι μικροπροεξοχές στο πέταλο του τριαντάφυλλου και τις σύγκριναν με τις μετρήσεις που είχαν πάρει για το φύλλο του λωτού. Όλες οι ομάδες έκαναν σωστά τη διαδικασία, πήραν τις σωστές μετρήσεις, έκαναν μετατροπές και βγάζοντας το μέσο όρο κατέληξαν στο αποτέλεσμα.



← 915 pixels →

Συμπληρώστε τον πίνακα που ακολουθεί.

Μικροδομή	Αριθμός pixels	Απόσταση σε μm
Απόσταση μικροπροεξοχών ΑΒ	156 pixels	$\frac{915}{50} = \frac{156}{x}, x = 39,2 \mu\text{m}$
Απόσταση μικροπροεξοχών ΑΓ	150 pixels	$\frac{915}{50} = \frac{150}{x}, x = 34,8 \mu\text{m}$
Απόσταση μικροπροεξοχών ΑΔ	157 pixels	$\frac{915}{50} = \frac{157}{x}, x = 36,5 \mu\text{m}$

Ας βγάλουμε το μέσο όρο της απόστασης των μικροπροεξοχών:  $35,8 \mu\text{m}$  ή 154,3 pixels

### Εικόνα 32: Παράδειγμα 11 από φύλλο εργασίας

Στη δραστηριότητα 11, οι μαθητές έκαναν ατομικά τις τέταρτες αναπαραστάσεις των επιφανειών του φύλλου του λωτού και του πέταλου του τριαντάφυλλου με τις σταγόνες του νερού πάνω τους, τις οποίες θα αναλύσουμε στη συνέχεια.

Επιπλέον, τους ζητήθηκε να απαντήσουν ομαδικά στο ερώτημα «Ποιος είναι ο λόγος που η σταγόνα στην μία περίπτωση κυλάει ενώ στην άλλη μένει καρφωμένη;». Οι απαντήσεις που έδωσαν οι ομάδες ήταν:

- Ο1: «Επειδή στο λωτό οι αποστάσεις ανάμεσα στις μικροπροεξοχές είναι μικρότερες απόσταση γι' αυτό η σταγόνα κυλάει ενώ στο τριαντάφυλλο οι αποστάσεις είναι πιο μεγάλες και γι' αυτό απορροφάτε πιο πολύ το νερό από το λωτό»
- Ο2: «Η επιφάνεια της προεξοχής είναι πιο μυτερή από την επιφάνεια της πρώτης περίπτωσης. Επίσης ο μικρός όγκος της σταγόνας ωφείλεται στην ύπαρξη μεγάλης ποσότητας αέρα γύρω της. Επειδή είναι πιο μακριά στο τριαντάφυλλο η σταγόνα δεν μπορεί να κυλήσει, και καρφώνεται στις προεξοχές επειδή της ασκείται μεγαλύτερη δύναμη»
- Ο3: «Αυτό συμβαίνει, γιατί στο λωτό οι μικροπροεξοχές έχουν μικρότερες αποστάσεις σε σχέση με το τριαντάφυλλο»

- O4: «Στον λωτό οι μικροπροεξοχές είναι τοποθετημένες πιο κοντά η μία στην άλλη σε αντίθεση με αυτές του τριαντάφυλλου. Στον λωτό είναι πιο κοντά και πέφτει η σταγόνα, ενώ στο τριαντάφυλλο πιο μακριά οι μικροπροεξοχές και η σταγόνα στέκεται»
- O5: «Η απόσταση είναι μεγαλύτερη. Επομένως, η σταγόνα μένει καρφωμένη. Ενώ όταν είναι μικρότερη η απόσταση γλιστράει»
- O6: «Επειδή είναι αραιά στο τριαντάφυλλο η σταγόνα μπορεί και κάθεται πάνω στις μικροπροεξοχές ενώ στο λωτό είναι πιο κοντά και γι' αυτό κουνιέται»
- O7: «Οι αποστάσεις των μικροπροεξοχών του τριαντάφυλλου είναι μεγαλύτερη, και έτσι συγκρατεί την σταγόνα. Σε αντίθεση με το φύλλομα του λωτού, όπου οι αποστάσεις των μικροπροεξοχών είναι μικρότερες, με αποτέλεσμα η σταγόνα να κυλάει»
- O8: «Οι αποστάσεις στο φύλλο του τριαντάφυλλου είναι μεγαλύτερες και έτσι η σταγόνα κινείται δυσκολότερα. Στην άλλη περίπτωση οι μικροπροεξοχές είναι μικρότερες»
- O9: «Εξαιτίας της απόστασης των μικροπροεξογκομάτων η σταγόνα “σφηνώνει”, και έτσι δεν κυλάει. Αντίθετα, στον λωτό που είναι πιο στενά κυλάει»
- O10: «Ο λόγος που η σταγόνα μένει καρφωμένη στο τριαντάφυλλο είναι ότι η επιφάνεια είναι πιο αραιή από το λωτό. Γι' αυτό κάθεται»

#### 2.4.4 Αξιολόγηση από ερευνήτρια ανά δίκωρο

Κατά τη διάρκεια της παρέμβασης η ερευνήτρια – εκπαιδευτικός αλλά και η εκπαιδευτικός της τάξης η οποία παρακολουθούσε όλη την παρέμβαση συμπλήρωναν έναν πίνακα (Παράρτημα II), όπου αξιολογούσαν την πορεία των δραστηριοτήτων με θετικό ή αρνητικό πρόσημο. Το θετικό πρόσημο (+) δίνονταν στις δραστηριότητες για τις οποίες και ο χρόνος ήταν επαρκής για την εφαρμογή τους και οι μαθητές δεν είχαν πρόβλημα με τον χειρισμό των υλικών και την εκτέλεση των δραστηριοτήτων. Ενώ αρνητικό πρόσημο (-) δίνονταν στις δραστηριότητες για τις οποίες έστω και μία από αυτές τις προϋποθέσεις δεν ικανοποιούνταν.

Για το 1<sup>ο</sup> δίκωρο (Ερώτημα για διερεύνηση – Δραστηριότητα 3):

- Όσον αφορά το πρώτο τμήμα, η εκπαιδευτικός της τάξης, αξιολόγησε με θετικό πρόσημο όλες τις δραστηριότητες. Επίσης έκανε τις παρατηρήσεις ότι στο πρώτο ερώτημα για διερεύνηση οι ομάδες είχαν πολλές ιδέες και στην δραστηριότητα 2β οι περισσότεροι μαθητές μέτρησαν με το λογισμικό «OnScreenProtactor» και την υιοθέτησαν σαν μοναδική μέθοδο μέτρησης γωνίας.

- Η ερευνήτρια – εκπαιδευτικός, για το ίδιο τμήμα, αξιολόγησε με θετικό πρόσημο όλες τις δραστηριότητες. Επιπλέον, παρατήρησε ότι στο πρώτο ερώτημα για διερεύνηση οι ομάδες είχαν πολλές ιδέες και στην δραστηριότητα 1 οι μαθητές έδειξαν έντονο ενδιαφέρον. Ενώ στη δραστηριότητα 2α παρόλο που πήραν μετρήσεις με ευκολία, παρουσίασαν δυσκολία στην έκφραση του όρου υπέρ-υδρόφοβο. Τέλος, στην δραστηριότητα 3, όταν ρωτήθηκαν αν έχουν ακουστά το φυτό λωτός, ανέφεραν τους λωτοφάγους και οι περισσότεροι μαθητές μέτρησαν τη γωνία με το λογισμικό «OnScreenProtactor» και όταν τους ζητήθηκε να συγκρίνουν τους δύο τρόπους μέτρησης έδωσαν το πλεονέκτημα στο λογισμικό γιατί τους παρείχε μεγαλύτερη ακρίβεια στις μετρήσεις.
- Για το δεύτερο τμήμα η εκπαιδευτικός της τάξης, αξιολόγησε με θετικό πρόσημο όλες τις δραστηριότητες. Παρατήρησε ότι η δραστηριότητα 1 τους άρεσε πολύ και την έκαναν με ενδιαφέρον. Ενώ στη δραστηριότητα 2α παρατήρησαν ότι μερικοί μαθητές αγνοούσαν τη χρήση βασικών πραγμάτων αλλά ομαδικά μετρήθηκαν μια χαρά οι γωνίες.
- Για το ίδιο τμήμα, η ερευνήτρια – εκπαιδευτικός, αξιολόγησε θετικά όλες τις δραστηριότητες. Παρατήρησε ότι τα παιδιά έδειξαν ενθουσιασμό με τη δραστηριότητα 1. Ήξεραν να μετράνε με το μοιρογνωμόνιο αλλά είπαν πως πιο εύκολος τρόπος ήταν με το λογισμικό.

Για το 2<sup>ο</sup> δίωρο (Δραστηριότητα 4 - Δραστηριότητα 7):

- Για το πρώτο τμήμα, η εκπαιδευτικός της τάξης, αξιολόγησε θετικά όλες τις δραστηριότητες, ενώ δεν έκανε κάποια συγκεκριμένη παρατήρηση.
- Για αυτό το τμήμα, η ερευνήτρια – εκπαιδευτικός, αξιολόγησε θετικά όλες τις δραστηριότητες. Παρατήρησε ότι, στην δραστηριότητα 4 οι μαθητές είχαν λιγότερο ενδιαφέρον από τα πραγματικά πειράματα. Ενώ κατάλαβαν κατευθείαν τη μετατροπή από pixel σε mm και υπολόγισαν εύκολα την απόσταση. Στην δραστηριότητα 6 μίλησαν για τον αέρα. Και γενικά τους άρεσε όταν σχεδίαζαν.
- Για το δεύτερο τμήμα, η εκπαιδευτικός της τάξης, αξιολόγησε θετικά όλες τις δραστηριότητες. Παρατήρησε ότι, μία μαθήτρια, στη δραστηριότητα 6 ρώτησε γιατί το νερό αφού έχει μεγαλύτερη πυκνότητα από τον αέρα δεν πέφτει αλλά κρέμεται σαν σταγόνα.
- Για το ίδιο τμήμα, η ερευνήτρια – εκπαιδευτικός, αξιολόγησε θετικά όλες τις δραστηριότητες. Παρατήρησε ότι στη δραστηριότητα 4, οι μαθητές μέτρησαν και έβγαλαν το μέσο όρο για την απόσταση χωρίς πρόβλημα, ενώ στη συζήτηση πριν την αναφορά στο ηλεκτρονικό μικροσκόπιο, οι μαθητές όταν ρωτήθηκαν τι θα μπορούσαν να χρησιμοποιήσουν για να δουν με μεγαλύτερη ακρίβεια από το οπτικό μικροσκόπιο, ανέφεραν ηλεκτρικό και νανοσκόπιο. Στις δραστηριότητες όπου έφτιαχναν αναπαραστάσεις έδειχναν ιδιαίτερο ενδιαφέρον ακόμα και μαθητές που δεν συμμετείχαν πολύ. Στη

δραστηριότητα 6, μίλησαν για τον αέρα όμως ίσως τους μπέρδεψε λίγο το πείραμα με τη σύριγγα γιατί ρωτούσαν αν υπάρχουν νανοτριχίδια. Επίσης, μία μαθήτρια ρώτησε, αφού ο αέρας έχει μικρότερη πυκνότητα από το νερό γιατί μένει κάτω από τη σταγόνα.

Για το 3<sup>ο</sup> δίωρο (Δραστηριότητα 8 - Δραστηριότητα 11):

- Για το πρώτο τμήμα, η εκπαιδευτικός της τάξης, αξιολόγησε θετικά όλες τις δραστηριότητες, ενώ δεν έκανε κάποια συγκεκριμένη παρατήρηση.
- Για αυτό το τμήμα, η ερευνήτρια – εκπαιδευτικός, αξιολόγησε θετικά όλες τις δραστηριότητες. Παρατήρησε ότι, στην δραστηριότητα 8, συμμετείχαν με ενθουσιασμό και τους εντυπωσίασε το τριαντάφυλλο. Στην δραστηριότητα 9, όλοι οι μαθητές διάλεξαν το λογισμικό για να μετρήσουν γωνίες επαφής. Παρατηρήθηκε ακόμη μία μικρή δυσκολία στη χρήση της λέξης υπέρ-υδρόφοβο παρόλο που καταλάβαιναν το φαινόμενο.
- Για το δεύτερο τμήμα, η εκπαιδευτικός της τάξης, αξιολόγησε θετικά όλες τις δραστηριότητες, ενώ δεν έκανε κάποια συγκεκριμένη παρατήρηση.
- Για αυτό το τμήμα, η ερευνήτρια – εκπαιδευτικός, αξιολόγησε θετικά όλες τις δραστηριότητες. Παρατήρησε ότι, στην δραστηριότητα 8 οι μαθητές ενθουσιάστηκαν με το τριαντάφυλλο, ενώ σε μία ομάδα για μία στιγμή κόλλησε η σταγόνα και στην ακακία όμως όταν το δοκίμασαν ξανά είδαν ότι δεν έμενε αλλά κυλούσε. Επίσης και εδώ όλοι οι μαθητές, στη δραστηριότητα 9, επέλεξαν να μετρήσουν τις γωνίες επαφής με το λογισμικό.

## 3<sup>ο</sup> Κεφάλαιο: Μεθοδολογία

### 3.1-Σκοπός της έρευνας και ερευνητικά ερωτήματα

Στην εκπαιδευτική έρευνα, θεμελιώδεις είναι οι έννοιες του σχεδιασμού, της συλλογής και της ανάλυσης δεδομένων. Με τον όρο μέθοδοι εννοούμε το φάσμα των προσεγγίσεων που χρησιμοποιούνται στην εκπαιδευτική έρευνα για τη συλλογή δεδομένων που πρόκειται να χρησιμοποιηθούν ως βάση για συμπεράσματα, ερμηνείες, επεξηγήσεις και προβλέψεις (Cohen, Manion, & Morrison, 2007).

Σκοπός της έρευνας, ήταν να μελετηθούν οι απόψεις των μαθητών για το εκπαιδευτικό υλικό και τις δραστηριότητες που υλοποιήθηκαν σχετικά με: (α) τον χειρισμό και (β) το ενδιαφέρον που τους προκάλεσαν. Επιπλέον να μελετηθούν οι απόψεις των μαθητών για το φύλλο του λωτού και το πέταλο του τριαντάφυλλου μέσα από τις αναπαραστάσεις (ζωγραφιές) τους. Ο γενικός σκοπός της έρευνας μπορεί να μετατραπεί σε τρία ερευνητικά ερωτήματα ως εξής:

ΕΕ1-Ερευνητικό Ερώτημα 1: Ποιες ήταν οι απόψεις των μαθητών σχετικά με τον χειρισμό του εκπαιδευτικού υλικού ανά δραστηριότητα;

ΕΕ2-Ερευνητικό Ερώτημα 2: Ποιες ήταν οι απόψεις των μαθητών σχετικά με το ενδιαφέρον που τους προκαλούσε το εκπαιδευτικό υλικό ανά δραστηριότητα;

ΕΕ3-Ερευνητικό Ερώτημα 3: Πως διαμορφώθηκαν οι απόψεις των μαθητών για το λωτό και το τριαντάφυλλο στη διάρκεια των δραστηριοτήτων;

### 3.2-Μέθοδος συλλογής δεδομένων

#### **Το ερωτηματολόγιο καταγραφής**

Πολλές έρευνες περιλαμβάνουν τη μέτρηση των απόψεων και των στάσεων των ανθρώπων. Για τέτοιες μετρήσεις αρκετά δημοφιλείς είναι οι κλίμακες Likert, οι οποίες λίγο πολύ ακολουθούν την αρχική μορφή που σχεδίασε ο Rensis Likert στη δεκαετία του 1930.

Κάποια χαρακτηριστικά για της κλίμακες Likert είναι ότι,

- χρησιμοποιούνται αρκετά συχνά,
- ερευνούν μεγάλα δείγματα (αύξηση εγκυρότητας αποτελεσμάτων),
- μερικοί ερευνητές δημιουργούν δικές τους κλίμακες, αυτό τους εμπλέκει σε πολλές προπαρασκευαστικές εργασίες (αξιολόγηση αξιοπιστίας και



εγκυρότητας), ενώ άλλοι χρησιμοποιούν ή προσαρμόζουν κλίμακες που έχουν αναπτυχθεί από προηγούμενους ερευνητές,

- η χρήση πολλών διαφορετικών κλιμάκων σε μία μελέτη παρέχει μεγαλύτερη εικόνα, αλλά προβάλλεται ένα πρόβλημα, ειδικά με τα παιδιά, όταν έχουν να συμπληρώσουν πολλές διαφορετικές κλίμακες σε μία συνάντηση, δεν παρατηρούν τα πάντα, ίσως μπερδεύονται και κουράζονται με αποτέλεσμα να επιλέγουν συνεχώς το ίδιο κουτάκι,
- χρησιμοποιούν 5 ή 7 βαθμίδες συνήθως, σε κάποιες έρευνες έχει γίνει χρήση τεσσάρων βαθμίδων σε αντίθεση με πέντε εξαλείφοντας τα ουδέτερα μεσαία σημεία και αναγκάζοντας τους ερωτηθέντες να κάνουν μία επιλογή,
- τα στοιχεία κλιμάκωσης συνήθως βαθμολογούνται από χαμηλό σε υψηλό, με τον αρνητικό πόλο στα αριστερά και τον θετικό προς τα δεξιά,
- ένα δύσκολο σημείο είναι αν υπάρχουν κάποια στοιχεία σε μία κλίμακα που είναι «αρνητικά διατυπωμένα» και οι ερωτηθέντες χρειάζεται να αντιστρέψουν τη σκέψη τους λέγοντας ότι συμφωνούν ή διαφωνούν μαζί τους, γεγονός που κάποιες φορές τους δυσκολεύει,






ορισμένα από τα στοιχεία σε κάποιες κλίμακες ρωτούν περισσότερα από ένα πράγματα και αυτό προκαλεί δυσκολίες στους ερωτώμενους (πχ μία μεγάλη πρόταση που συμφωνούν στην μισή αλλά διαφωνούν στην υπόλοιπη), εκεί χρειάζεται να αποσαφηνιστούν τα στοιχεία ώστε το καθένα να έχει μόνο ένα ζήτημα. (Hartley, 2014)

Στην έρευνα αυτή χρησιμοποιήθηκε ερωτηματολόγιο καταγραφής απόψεων των μαθητών σχετικά με το χειρισμό και το ενδιαφέρον ως προς τις δραστηριότητες της παρέμβασης. Το ερωτηματολόγιο αυτό αποτελούνταν από κλειστές ερωτήσεις 5βάθμιας κλίμακας Likert για το σύνολο των δραστηριοτήτων ανά δίκωρο. Επομένως σε κάθε δίκωρο το ερωτηματολόγιο περιελάμβανε τις αντίστοιχες δραστηριότητες. Με αυτό το ερευνητικό εργαλείο συλλέχτηκαν δεδομένα για την προσέγγιση των δύο πρώτων ερευνητικών ερωτημάτων. Στην εικόνα 33 φαίνεται ένα παράδειγμα από το ερωτηματολόγιο του 1<sup>ου</sup> δίκωρου σχετικά με τον χειρισμό των δραστηριοτήτων και στο Παράρτημα II φαίνεται το ερωτηματολόγιο για όλα τα δίκωρα.

### ΓΡΑΨΕ ΤΗΝ ΑΠΟΨΗ ΣΟΥ

Παρακάτω φαίνονται όλες οι δραστηριότητες που εφαρμόσαμε στην πρώτη μας συνάντηση. Θα θέλαμε την άποψή σου, για τις δραστηριότητες αυτές.

Α. Χρησιμοποιώντας την παρακάτω κλίμακα, σημείωσε σε ποιο βαθμό ισχύει για σένα η καθεμιά δραστηριότητα:

Δεν μπόρεσα να το χειριστώ καθόλου 	Είχα αρκετές δυσκολίες να το χειριστώ 	Αν και είχα δυσκολίες να το χειριστώ κάτι έκανα 	Το χειρίστηκα άνετα 	Ήταν πολύ εύκολο για μένα να το χειριστώ 
1	2	3	4	5

Δραστηριότητες που υλοποιήσαμε κατά τη διάρκεια της 1<sup>ης</sup> συνάντησης:

	Ερώτημα για διερεύνηση					
1	Ο Κώστας και η Ελένη αναρωτιούνταν για το πώς δεν θα βραχούν στο μπουγάλο. Προτείναμε λύσεις για το ερώτημά τους.	1	2	3	4	5
2	Ερευνητική Δραστηριότητα 1 Ρίχναμε νερό πάνω σε διάφορα υλικά για να εξετάσουμε ποια από αυτά βρέχονται και ποια δεν βρέχονται.	1	2	3	4	5
3	Ερευνητική Δραστηριότητα 2α Μετρήσαμε τη γωνία επαφής με μαργαριτάκι.	1	2	3	4	5
4	Ερευνητική Δραστηριότητα 2β Μετρήσαμε τη γωνία επαφής με λογισμικό «On Screen Protractor».	1	2	3	4	5
5	Ερευνητική Δραστηριότητα 3 Σχεδιάσαμε την επιφάνεια ενός υδατο-υδρόφοβου υλικού όπως είναι ο λωτός.	1	2	3	4	5

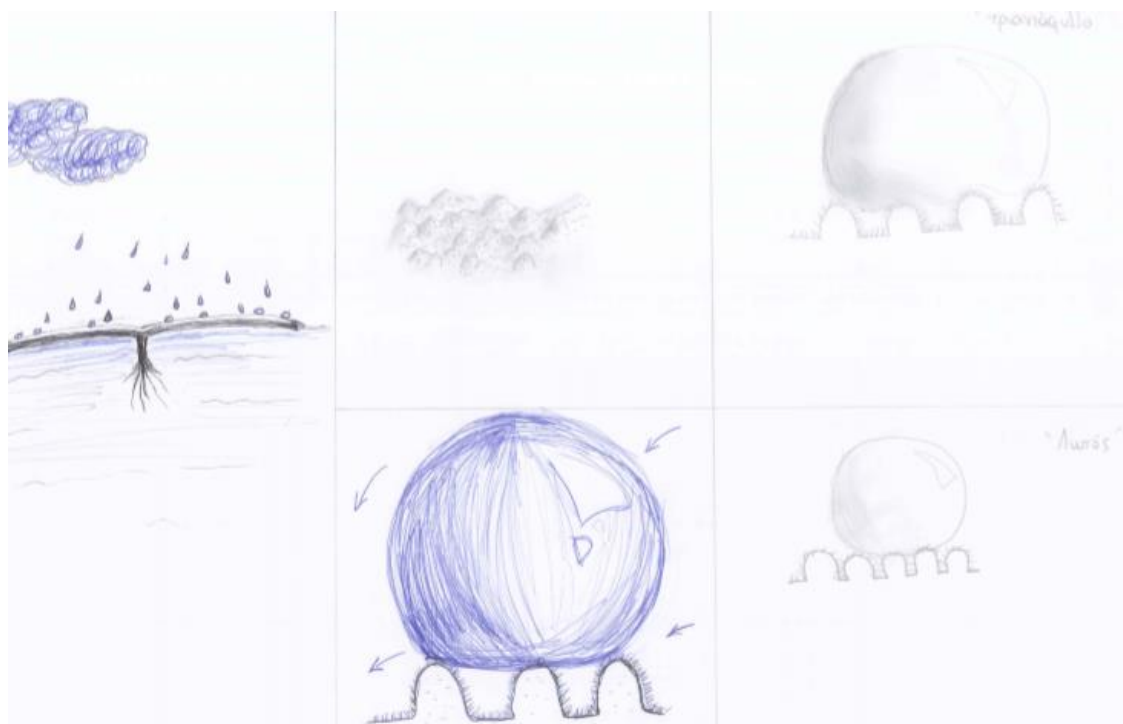
Εικόνα 33: Ενδεικτικό παράδειγμα από το ερωτηματολόγιο του 1<sup>ου</sup> δώρου

### Αναπαραστάσεις (ζωγραφιές)

Η σχεδίαση από τους μαθητές υποστηρίζεται ότι μπορεί να χαρακτηριστεί ιδιαίτερα χρήσιμη, επειδή φέρνει στην επιφάνεια προσωπικές αναπαραστάσεις των φαινομένων (Carvalho et al., 2004). Επιπλέον, η σχεδίαση θεωρείται ότι ξεπερνάει το εμπόδιο που μπορεί να προκύψει ανάμεσα σε μαθητή και ερευνητή, όπου ο μαθητής μπορεί να φοβάται μήπως δώσει τη “λάθος απάντηση”, δηλαδή είναι μία πολύ καλή λύση για τους μαθητές που έχουν δυσκολία να εκφραστούν προφορικά, αλλά και για εκείνους που δυσκολεύονται να εκφραστούν με γραπτό λόγο. Προτείνεται επίσης, ως λύση για να ξεπεραστούν οι εναλλακτικές ιδέες των μαθητών, να τους ζητηθεί να εργασθούν πάνω στα δικά τους σχέδια, να τα αναλύσουν, να συζητήσουν και να βελτιώσουν τις δικές τους αντιλήψεις. Η λύση αυτή παρουσιάζεται ως αποτελεσματική για τους φοιτητές και μαθητές της δευτεροβάθμιας εκπαίδευσης (Carvalho et al., 2004).

Ένα ακόμα πλεονέκτημα της μεθόδου με σχέδια μαθητών είναι η συγκριτική ευκολία με την οποία μπορεί να ληφθεί ένας πλούσιος αριθμός δεδομένων (Reiss et al., 2002, Reiss & Tunnicliffe, 2001).

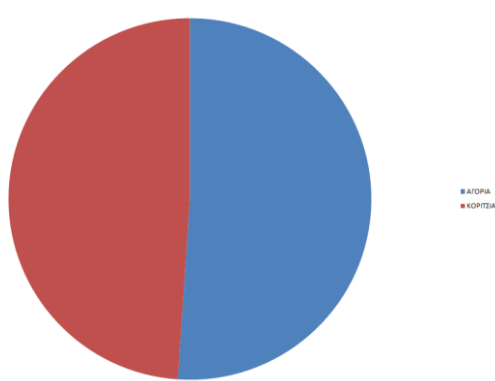
Στην εργασία αυτή, ως δεύτερο εργαλείο συλλογής δεδομένων χρησιμοποιήθηκαν οι αναπαραστάσεις (ζωγραφιές). Συγκεκριμένα, στη διάρκεια των δραστηριοτήτων ζητούσαμε να αναπαραστήσουν την επιφάνεια του φύλλου του λωτού και του πέταλου του τριαντάφυλλου, καθώς και να σχεδιάσουν τη σταγόνα πάνω τους. Ένα χαρακτηριστικό παράδειγμα από τις αναπαραστάσεις (ζωγραφιές) των μαθητών φαίνεται στην Εικόνα 34. Στην πρώτη ζωγραφιά φαίνεται το φύλλο του λωτού χωρίς κάποια αναφορά στην δομή του, στην δεύτερη παρουσιάζεται η μικροδομή του φύλλου του λωτού, στην τρίτη εμφανίζεται η ιεραρχική δομή (μικρο και νάνο δομή) του φύλλου με τη σταγόνα, και στις δύο τελευταίες φαίνεται η ιεραρχική δομή στο φύλλο του λωτού και στο πέταλο του τριαντάφυλλου με την τοποθέτηση της σταγόνας πάνω τους αλλά και η διαφορετική τοπογραφία της επιφάνειάς τους.



**Εικόνα 34: Ενδεικτικό παράδειγμα από τις αναπαραστάσεις των μαθητών**

### 3.3-Το δείγμα της έρευνας

Οι δραστηριότητες πραγματοποιήθηκαν στο πλαίσιο της «θεματικής εβδομάδας», ενός εκπαιδευτικού θεσμού ο οποίος έχει καθιερωθεί πρόσφατα στη χώρα μας (2016-2017) για τις τρεις τάξεις του γυμνασίου. Η παρέμβαση υλοποιήθηκε σε Γυμνάσιο της Φλώρινας, σε 47 μαθητές (24 αγόρια και 23 κορίτσια) της Γ' τάξης Γυμνασίου (δύο τμήματα). Σε κάθε τμήμα πραγματοποιήθηκαν τρία δίωρα σχετικά με τη Ν-ΕΤ: το φαινόμενο της υπέρ-υδροφοβικότητας στο ασιατικό φυτό λωτό και στο τριαντάφυλλο. Το περιβάλλον μάθησης είχε διερευνητικό χαρακτήρα.



Εικόνα 35: Το δείγμα της έρευνας

### 3.4-Μέθοδος ανάλυσης δεδομένων

Όσον αφορά την ανάλυση των δεδομένων των πρώτων δύο ερευνητικών ερωτημάτων, επειδή πρόκειται για ποσοτικά δεδομένα, οι απαντήσεις των μαθητών (Likert5) καταγράφηκαν σε φύλλα excel, αναλύθηκαν και έγινε σύγκριση των απαντήσεων με το δείκτη Cronbach's Alfa.

Όσον αφορά την ανάλυση των δεδομένων του τρίτου ερευνητικού ερωτήματος, επειδή πρόκειται για ποιοτικά δεδομένα, χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος της ανάλυσης περιεχομένου ώστε να αναλυθούν οι αναπαραστάσεις (ζωγραφιές) των μαθητών. Η συγκεκριμένη μέθοδος χρησιμοποιείται για την ανάλυση κειμένων (λέξεις ή/και εικόνες), με στόχο την συστηματική κωδικοποίηση και ποσοτικοποίηση του εκάστοτε περιεχομένου με συστηματικό και επαναληπτικό τρόπο με βάση ήδη διαμορφωμένων κατηγοριών (Σακελλάρη, 2019, Bryman, 2017).

Συγκεκριμένα, οι ζωγραφιές των μαθητών αναλύθηκαν σε 3 στάδια. Στο 1<sup>ο</sup> στάδιο έγινε η μεταγραφή των δεδομένων σε υπολογιστικό φύλλο Excel. Για κάθε αναπαράσταση δημιουργήθηκε το αντίστοιχο φύλλο Excel. Σε κάθε φύλλο Excel

στην πρώτη στήλη καταχωρήθηκε ο αύξων αριθμός κάθε μαθητή, στη συνέχεια το φύλο του και τέλος τα δεδομένα από τις αναπαραστάσεις (ζωγραφιές).

Στο 2<sup>ο</sup> στάδιο, έγινε ο προσδιορισμός Μονάδων Ανάλυσης (ΜΑ). Ως μονάδες ανάλυσης ορίζονται λέξεις ή φράσεις με αυτοτελές εννοιολογικό περιεχόμενο (Cohen et al., 2007). Στην ανάλυση των ζωγραφιών των μαθητών, αναζητήθηκαν σαν μονάδες ανάλυσης η μικροδομή και η νανοδομή στην επιφάνεια των φύλλων κάτι που θα οδηγήσει στην ιεραρχική δομή, η οποία είναι υπεύθυνη για την υπέρ-υδροφοβική τους ιδιότητα, καθώς και η σωστή τοποθέτηση της σταγόνας (επιστημονική απάντηση). Η κάθε ζωγραφιά είναι δυνατόν να περιλαμβάνει παραπάνω από μία ΜΑ. Ο αριθμός των μονάδων ανάλυσης καταγράφονταν στο αντίστοιχο φύλλο Excel.

Στο 3<sup>ο</sup> στάδιο, δημιουργούνται οι κατηγορίες στις οποίες εντάσσουμε τις απαντήσεις των μαθητών. Οι ΜΑ κάθε απάντησης αντιστοιχήθηκαν με κατηγορίες που εντοπίστηκαν στην βιβλιογραφία και τροποποιήθηκαν κατάλληλα και θα παρουσιαστούν αναλυτικά στην συνέχεια. Προέκυψαν τέσσερα επίπεδα κατανόησης (E3,E2,E1,E0), με το E3 να προσεγγίζει την επιστημονική άποψη ενώ το E0 να απέχει περισσότερο από αυτήν όσον αφορά την ιεραρχική δομή και την σωστή τοποθέτηση της σταγόνας. Επίσης προέκυψαν δύο επίπεδα κατανόησης (E1, E0), όσον αφορά τη σαφή ή όχι αναπαράσταση της διαφορετικής τοπογραφίας των δύο φύλλων (λωτός, τριαντάφυλλο),στα οποία το E1 προσεγγίζει την επιστημονική άποψη ενώ το E0 να απέχει περισσότερο από αυτήν .

#### **3.4.1. Τα επίπεδα κατανόησης (E)**

Οι απαντήσεις/ζωγραφιές ταξινομούνται με βάση τα τέσσερα επίπεδα κατανόησης (Πέικος, 2016) για το φαινόμενο της υπέρ-υδροφοβικότητας, τα οποία τροποποιήθηκαν κατάλληλα και παρουσιάζονται παρακάτω.

Για την ανάλυση των ζωγραφιών έγινε ταξινόμηση των απαντήσεων στα Επίπεδα Κατανόησης, τα οποία αποτελούνται από το επίπεδο E3 το οποίο προσεγγίζει την επιστημονική άποψη, το επίπεδο E2 το οποίο εκφράζει μερικώς επιστημονική άποψη, το επίπεδο E1 το οποίο είναι μακριά από την επιστημονική άποψη και το επίπεδο E0 όπου περιέχει απαντήσεις που δηλώνουν ασάφεια ή άγνοια ή είναι κενές. Και μία δεύτερη ταξινόμηση στα Επίπεδα Κατανόησης E1 το οποίο προσεγγίζει την επιστημονική άποψη και το E0 που απέχει περισσότερο από αυτήν.

Στη δεύτερη ταξινόμηση, προκύπτουν δύο επίπεδα κατανόησης (E1,E0) και όχι τέσσερα επίπεδα κατανόησης (E3, E2, E1, E0) όπως είχαν προκύψει στη πρώτη. Αυτό γιατί στη δεύτερη ταξινόμηση θέλαμε να εξετάσουμε τη σαφή ή όχι

αναπαράσταση της διαφορετικής τοπογραφίας των δύο φύλλων και τα δύο επίπεδα κάλυπταν αυτήν την αναζήτηση.

**Πίνακας 4: Τα επίπεδα κατανόησης (E) - Αναπαράσταση ιεραρχικής δομής**

<b>E3</b>	<b>Επιστημονική άποψη</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Ιεραρχική δομή (μίκρο και νάνο δομή) και σωστή τοποθέτηση σταγόνας</li> </ul>
<b>E2</b>	<b>Μερικώς επιστημονική άποψη</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Αναπαράσταση της ιεραρχικής δομής και ασάφεια ως προς τη θέση της σταγόνας</li> <li>• Αναπαράσταση μόνο της μίκρο δομής</li> </ul>
<b>E1</b>	<b>Μακριά από την επιστημονική άποψη</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Επίπεδο φύλλο</li> <li>• Μακροσκοπική περιγραφή (πχ σταγόνα πάνω στο φύλλο)</li> </ul>
<b>E0</b>	<b>Καμία απάντηση/ δηλώσεις άγνοιας/ ασαφείς απαντήσεις</b>

Με βάση αυτόν τον πίνακα, ταξινομήθηκαν οι ζωγραφιές των μαθητών με κριτήριο το αν αναπαριστούν μακροσκοπικά, μικροσκοπικά ή νανοσκοπικά χαρακτηριστικά της δομής του φύλλου.

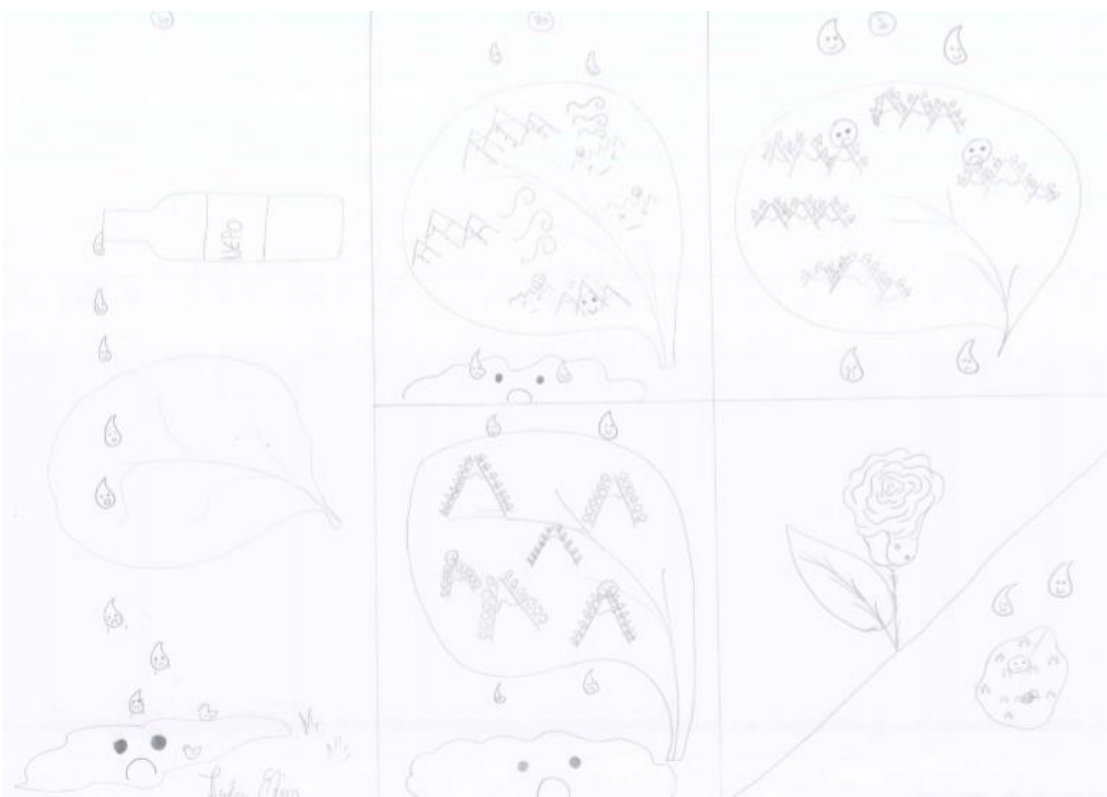
Στο επίπεδο «E3: Επιστημονική άποψη», εντάσσονται οι απαντήσεις των μαθητών στις οποίες υπάρχει αναφορά στην ιεραρχική δομή της επιφάνειας του φύλλου του λωτού αλλά και του τριαντάφυλλου, η οποία είναι υπεύθυνη για την υπέρ-υδροφοβική τους ιδιότητα, καθώς και η σωστή τοποθέτηση της σταγόνας. Στο επίπεδο «E2: Μερικώς επιστημονική άποψη», εντάσσονται οι απαντήσεις των μαθητών στις οποίες γίνεται αναφορά μόνο στην μίκρο-δομή της επιφάνειας των φύλλων ή γίνεται αναπαράσταση της ιεραρχικής δομής και υπάρχει ασάφεια ως προς τη θέση της σταγόνας. Στο επίπεδο «E1: Μακριά από την επιστημονική άποψη», περιλαμβάνονται οι απαντήσεις όπου οι μαθητές ζωγράρισαν το φύλλο επίπεδο ή έκαναν μακροσκοπική περιγραφή του φαινομένου (πχ σταγόνα πάνω στο φύλλο). Τέλος, στο επίπεδο «E0: Καμία απάντηση/δηλώσεις άγνοιας/ ασαφείς απαντήσεις», εντάσσονται οι απαντήσεις που δήλωναν άγνοια, ή ήταν ασαφείς ή οι μαθητές δεν έδωσαν κάποια απάντηση.

**Πίνακας 4: Τα επίπεδα κατανόησης (E) – Αναπαράσταση διαφορετικής τοπογραφίας**

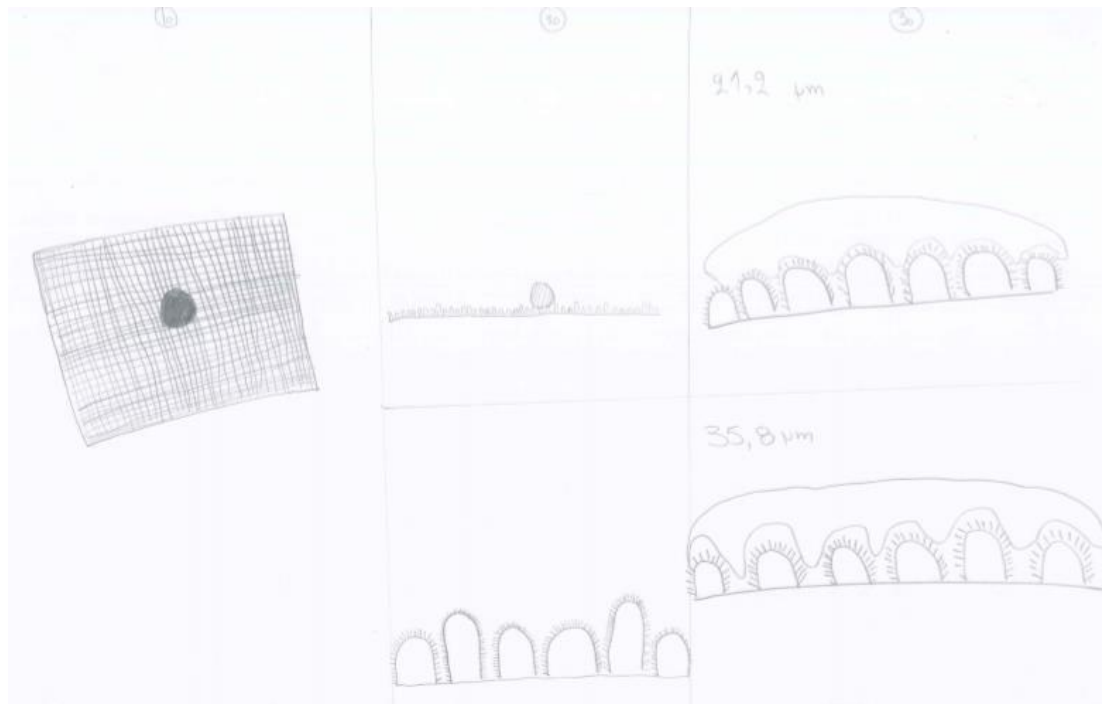
<b>E1</b>	<b>Σαφής αναπαράσταση διαφορετικής τοπογραφίας ή/και διαφορετική συμπεριφορά της σταγόνας</b>
<b>E0</b>	<b>Ασαφής αναπαράσταση</b>

Με βάση αυτόν τον πίνακα, ταξινομήθηκαν οι ζωγραφιές των μαθητών με κριτήριο το αν κάνουν σαφή ή όχι αναπαράσταση της διαφορετικής τοπογραφίας των δύο φύλλων (λωτός, τριαντάφυλλο).

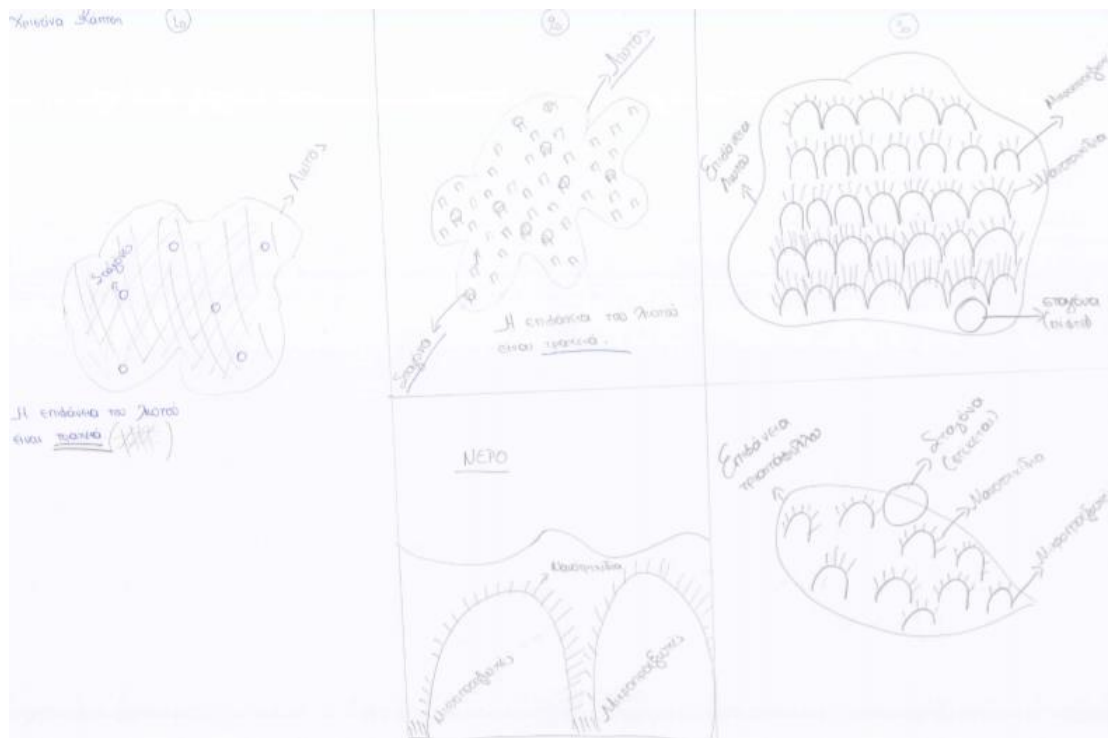
Στο Ε1 ταξινομούμε απαντήσεις όπου αναπαριστούνται η διαφορετική τοπογραφία των δύο φύλλων ή/και διαφορετική συμπεριφορά της σταγόνας (εισέρχεται ή όχι στη μικροδομή), ενώ στο Ε0 εκείνες όπου δεν υπήρχε σαφής αναπαράσταση.



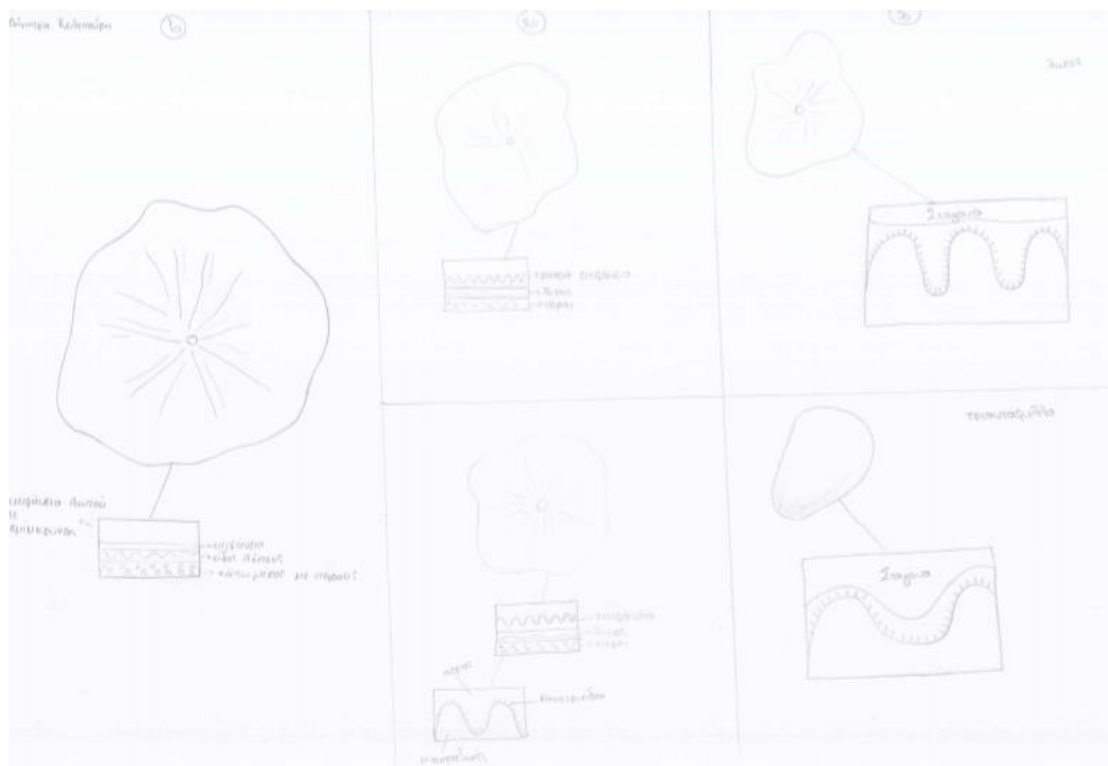
Εικόνα 36: Παράδειγμα ζωγραφιάς 1



Εικόνα 37: Παράδειγμα ζωγραφιάς 2

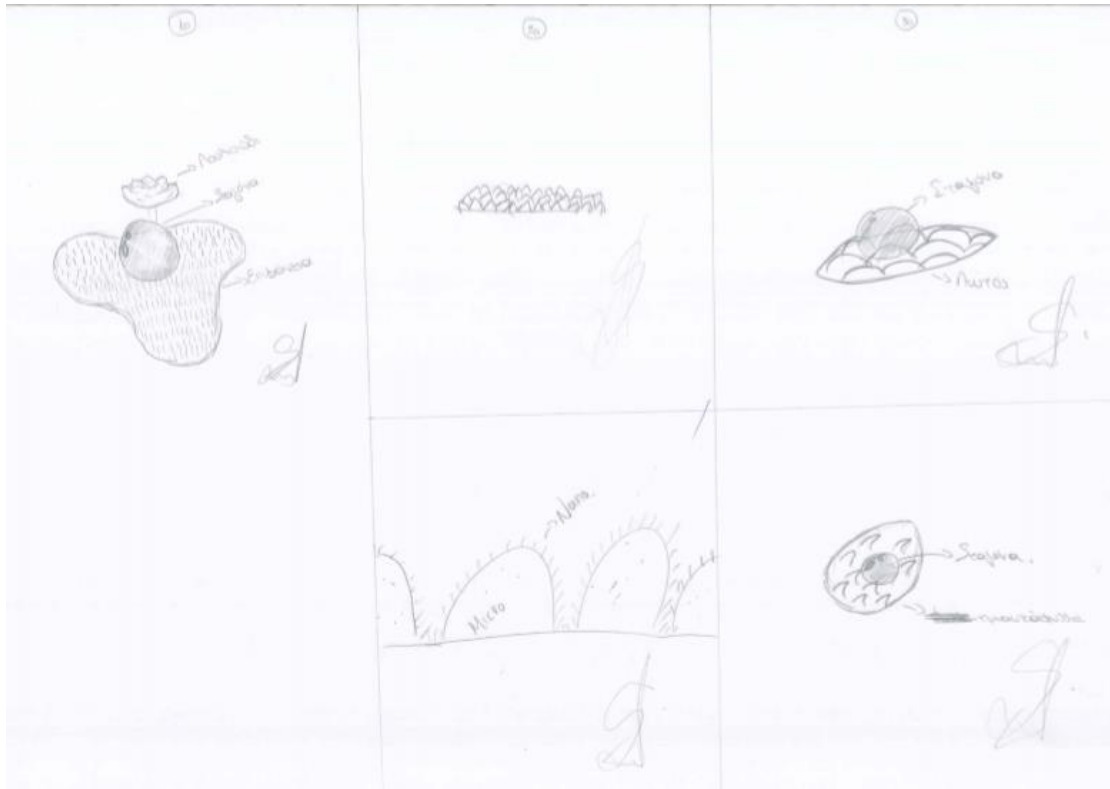


Εικόνα 38: Παράδειγμα ζωγραφιάς 3



Εικόνα 39: Παράδειγμα ζωγραφιάς 4





Εικόνα 40: Παράδειγμα ζωγραφιάς 5

### 3.5-Εγκυρότητα και αξιοπιστία έρευνας

Οι έννοιες της εγκυρότητας (validity) και της αξιοπιστίας (reliability), που προέρχονται από στατιστικές και ποσοτικές μεθόδους, είναι χρήσιμες και έχουν αξία για τις ποιοτικές μεθόδους, παρόλο που έχουν διαφορετικά χαρακτηριστικά.

Εγκυρότητα: Στην ποιοτική κοινωνική έρευνα, αναφέρεται στο κατά πόσο βρίσκονται σε αντιστοιχία τα ερευνητικά ερωτήματα, οι σκοποί και οι υποθέσεις της έρευνας με τα αποτελέσματα αυτής.

Υπάρχουν διάφορες πρακτικές που βοηθούν στον έλεγχο και την ενίσχυση της εγκυρότητας όπως: ο Τριγωνισμός (triangulation), η επικύρωση από τους συμμετέχοντες (respondent validation), η αρχή της διάψευσης (refutability principle), η συνεχής σύγκριση (constant comparison), η περιεκτική επεξεργασία των δεδομένων (comprehensive data treatment), η ανάλυση εξαιρετικών περιπτώσεων (deviant case analysis), ο έλεγχος από άλλους ερευνητές (peer examination), η συμμετοχική ή ομαδική έρευνα και ανάλυση (participatory or collaborative research and analysis), ο έλεγχος των αδυναμιών και των προκαταλήψεων του ερευνητή (researcher biases).

Αξιοπιστία: Στην ποιοτική κοινωνική έρευνα, αναφέρεται στο βαθμό συνέπειας (consistency) της ερευνητικής διαδικασίας και στο κατά πόσο τα αποτελέσματα της έρευνας έχουν ευρύτερη αξία (Iωσηφίδης, 2008).

Στην παρούσα εργασία για να εξασφαλιστεί η εγκυρότητα στο ερευνητικό ερώτημα ΕΕ3, σχετικά με την εξέλιξη των αναπαραστάσεων (ζωγραφιών) των παιδιών, χρησιμοποιήθηκε η πρακτική της τριγωνοποίησης κατά την ανάλυση των δεδομένων. Συγκεκριμένα, αφού η ερευνήτρια συνέλεξε και ταξινόμησε τις απαντήσεις/ζωγραφιές των μαθητών σύμφωνα με τα 3 στάδια που περιγράφηκαν στο κεφάλαιο 3.4, ένας δεύτερος και ανεξάρτητος ερευνητής διασταύρωσε τις δικές του απαντήσεις με αυτές της ερευνήτριας. Πραγματοποιήθηκε έλεγχος συμφωνίας μεταξύ των δύο ερευνητών μέχρι να επιτευχθεί πλήρης συμφωνία ώστε να συνεχίσει η διαδικασία. Τέλος, ένας τρίτος ανεξάρτητος ερευνητής ανέλυσε τυχαία το 1/3 των δεδομένων και επήλθε πλήρης συμφωνία μεταξύ των 3 ερευνητών.

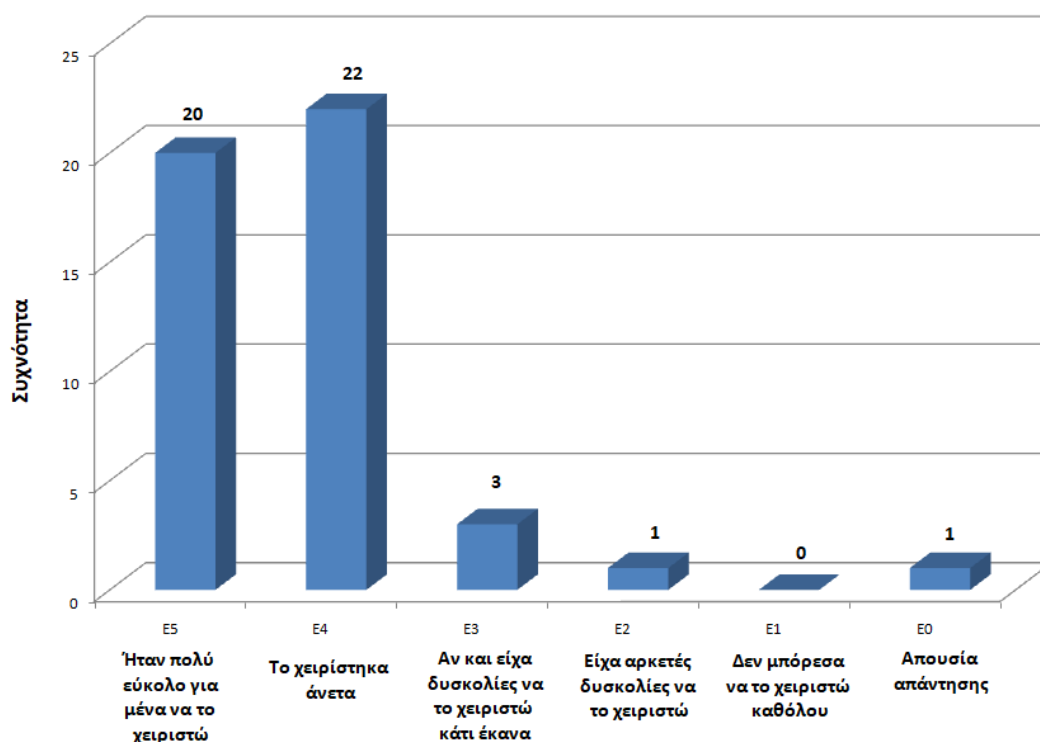
Όσον αφορά τα ερευνητικά ερωτήματα ΕΕ1 και ΕΕ2, σχετικά με το πόσο εύκολα ή δύσκολα χειρίστηκαν οι μαθητές τις δραστηριότητες και το πόσο ενδιαφέρουσες ήταν για αυτούς, πραγματοποιήθηκε έλεγχος αξιοπιστίας με τη χρήση του δείκτη Cronbach's  $\alpha$  λόγω του ποσοτικού χαρακτήρα των αποτελεσμάτων. Ο δείκτης εσωτερικής συνέπειας Cronbach's Alpha, δείχνει τη μέση συσχέτιση μεταξύ των απαντήσεων και ελέγχει το αν οι συμμετέχοντες συμπλήρωσαν το ερωτηματολόγιο με ακρίβεια, ειλικρίνεια και σωστό τρόπο (Γκίτσας, 2017: 68). Μεταξύ των δεδομένων βρέθηκε για το ΕΕ1 (χειρισμός) Alpha=0,953 και για το ΕΕ2 (ενδιαφέρον) Alpha=0,906. Και οι δύο δείκτες δηλώνουν υψηλή εσωτερική συνέπεια και συνεπώς υψηλή αξιοπιστία (Cohen et al., 2007).

## 4<sup>ο</sup> Κεφάλαιο: Αποτελέσματα

Στη συνέχεια παραθέτονται τα αποτελέσματα της έρευνας με τη μορφή γραφημάτων συχνοτήτων. Τα γραφήματα έγιναν με τη χρήση του προγράμματος Microsoft Excel 2007.

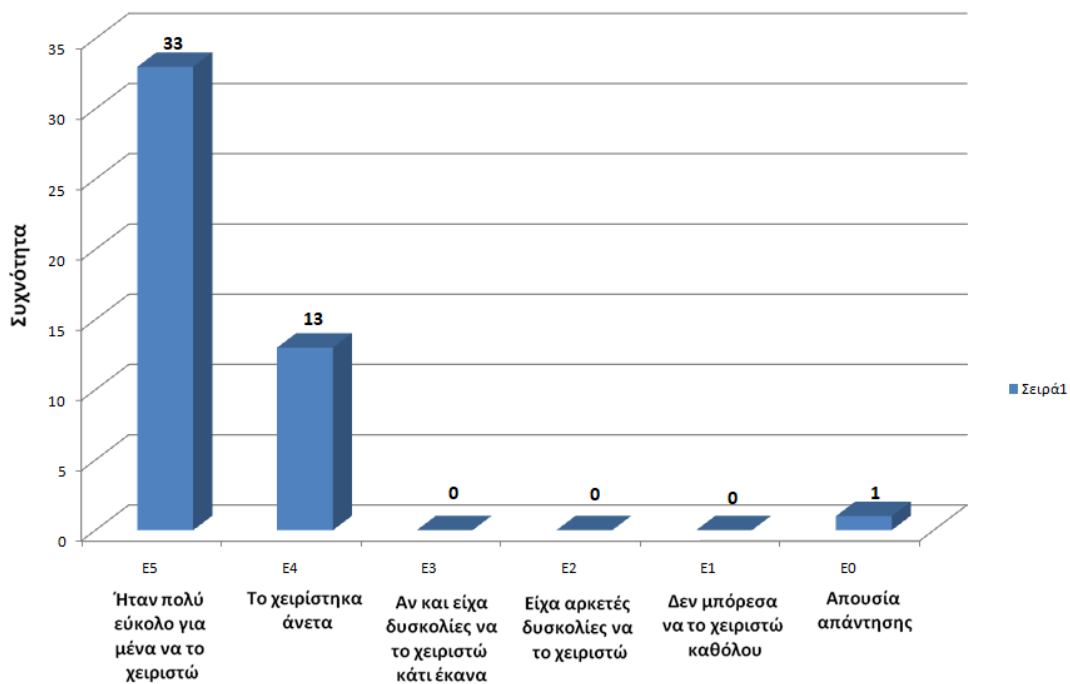
Όλα τα αποτελέσματα βρίσκονται σε αντιστοιχία με τα ερευνητικά ερωτήματα.

**Ερευνητικό Ερώτημα 1: Ποιες ήταν οι απόψεις των μαθητών σχετικά με τον χειρισμό του εκπαιδευτικού υλικού ανά δραστηριότητα;**



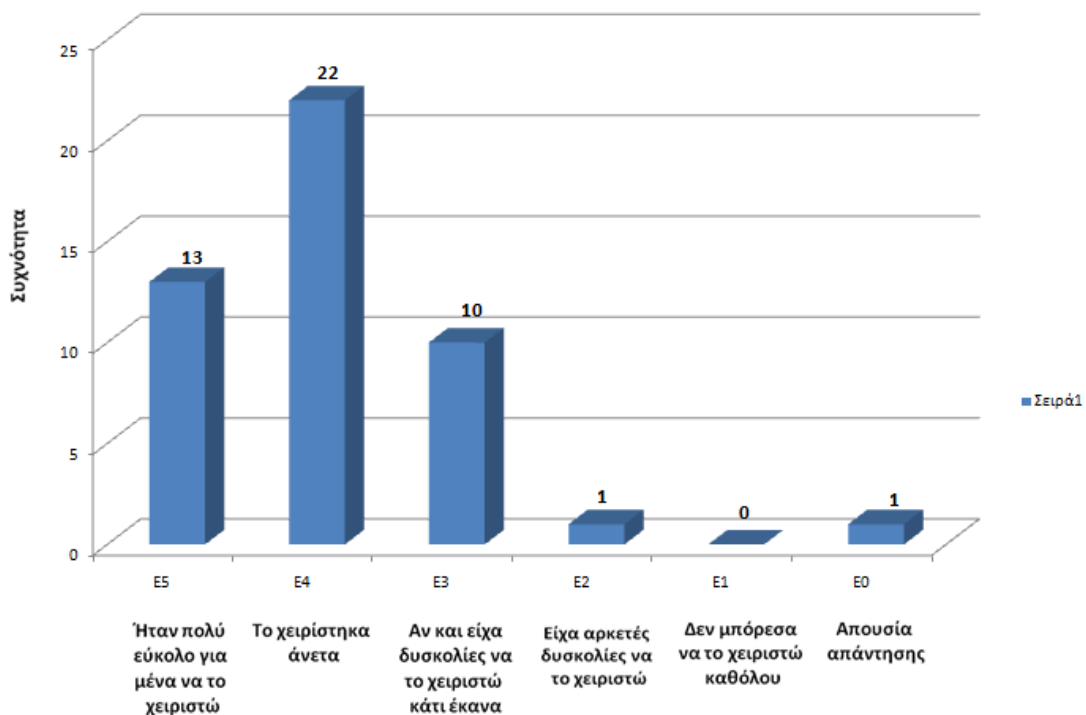
**Γράφημα 1: Απόψεις μαθητών για τον χειρισμό της ΕΡ\_1**

Σύμφωνα με το γράφημα 1, που αφορά το πρώτο ερώτημα για διερεύνηση, η πλειοψηφία των μαθητών συμφώνησαν με την πρόταση του ερωτηματολογίου «Το χειρίστηκα άνετα» ή με την πρόταση «Ήταν πολύ εύκολο για μένα να το χειριστώ», τρεις από τους μαθητές με την πρόταση «Αν και είχα δυσκολίες να το χειριστώ κάτι έκανα», ένας μαθητής με την πρόταση «Είχα αρκετές δυσκολίες να το χειριστώ» και ένας μαθητής δεν απάντησε.



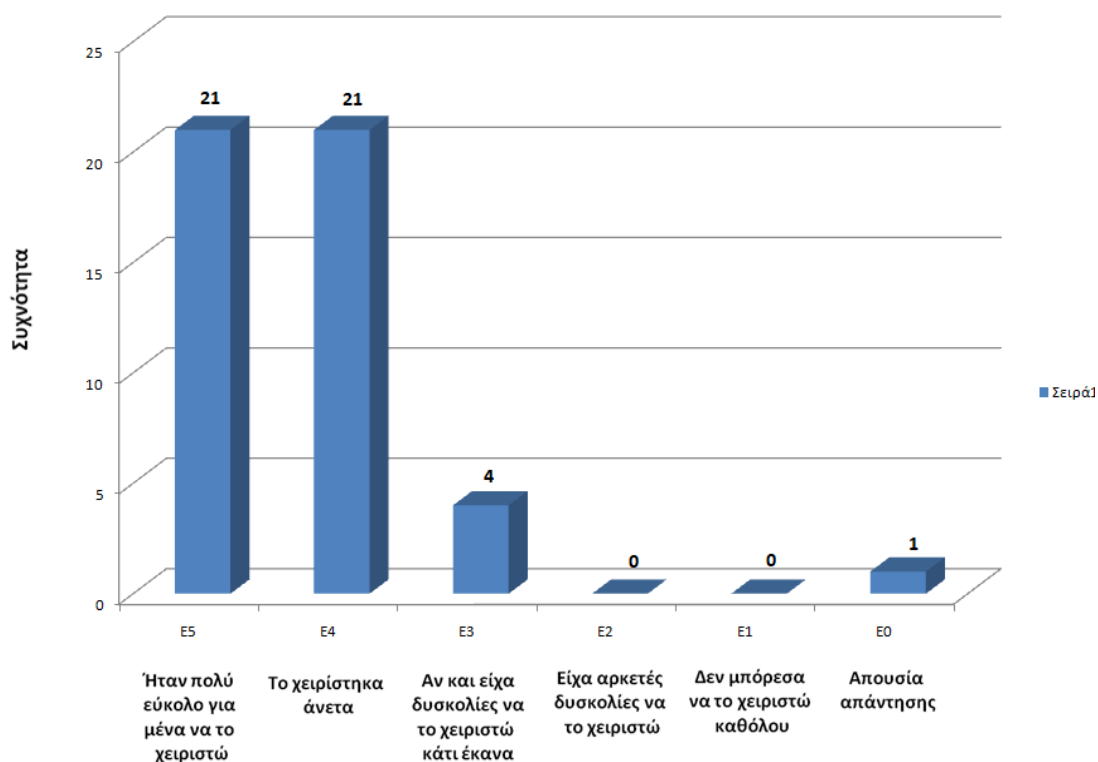
**Γράφημα 2: Απόψεις μαθητών για τον χειρισμό της ΔΡ\_1**

Σύμφωνα με το γράφημα 2, που αφορά την Δραστηριότητα 1, η πλειοψηφία των μαθητών συμφώνησαν με την πρόταση του ερωτηματολογίου «Ήταν πολύ εύκολο για μένα να το χειριστώ» και 13 από τους μαθητές με την πρόταση «Το χειρίστηκα άνετα» ενώ ένας μαθητής δεν απάντησε.



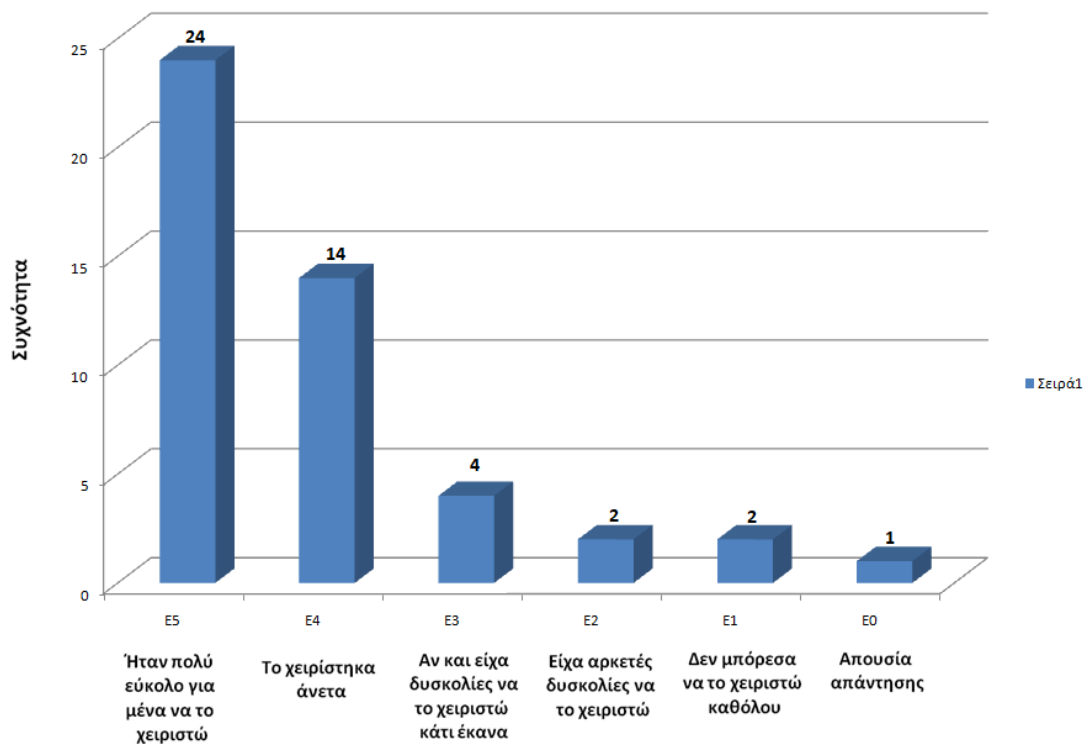
**Γράφημα 3: Απόψεις μαθητών για τον χειρισμό της ΔΡ\_2α**

Σύμφωνα με το γράφημα 3, που αφορά τη Δραστηριότητα 2α, οι περισσότεροι μαθητές συμφώνησαν με την πρόταση του ερωτηματολογίου «Το χειρίστηκα άνετα» ή με την πρόταση «Ήταν πολύ εύκολο για μένα να το χειριστώ», δέκα από τους μαθητές με την πρόταση «Αν και είχα δυσκολίες να το χειριστώ κάτι έκανα», ένας μαθητής με την πρόταση «Είχα αρκετές δυσκολίες να το χειριστώ» και ένας μαθητής δεν απάντησε.



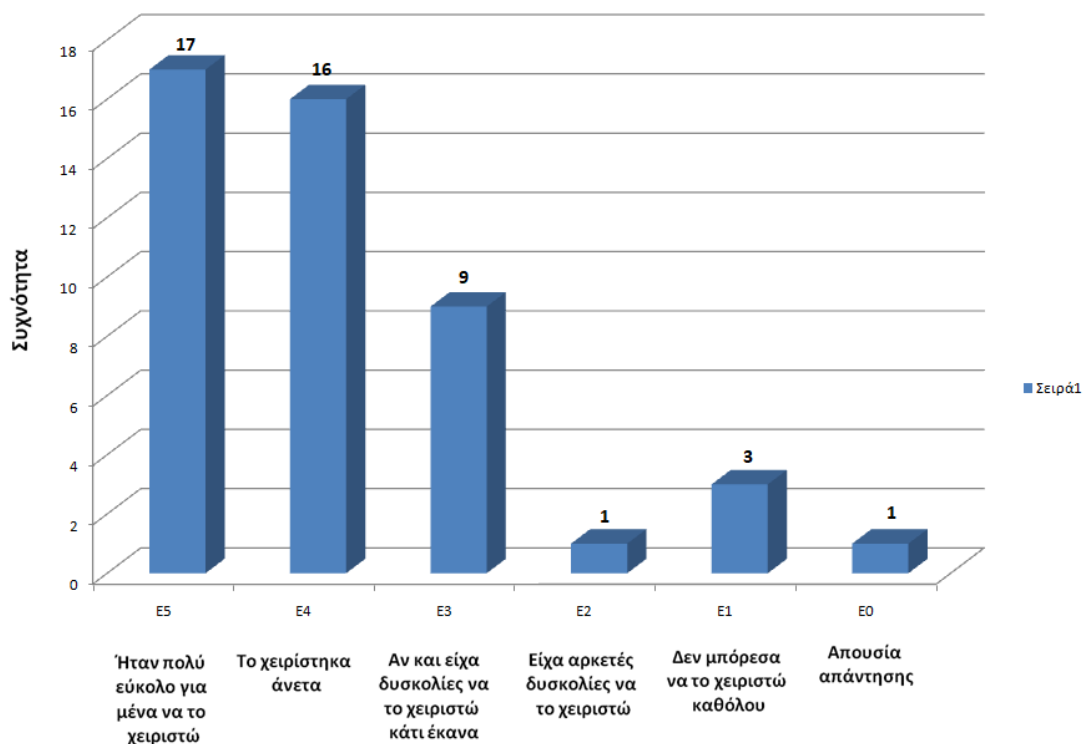
**Γράφημα 4: Απόψεις μαθητών για τον χειρισμό της ΔΡ\_2β**

Σύμφωνα με το γράφημα 4, που αφορά τη Δραστηριότητα 2β, οι περισσότεροι μαθητές συμφώνησαν με την πρόταση του ερωτηματολογίου «Το χειρίστηκα άνετα» ή με την πρόταση «Ήταν πολύ εύκολο για μένα να το χειριστώ», τέσσερις από τους μαθητές με την πρόταση «Αν και είχα δυσκολίες να το χειριστώ κάτι έκανα» και ένας μαθητής δεν απάντησε.



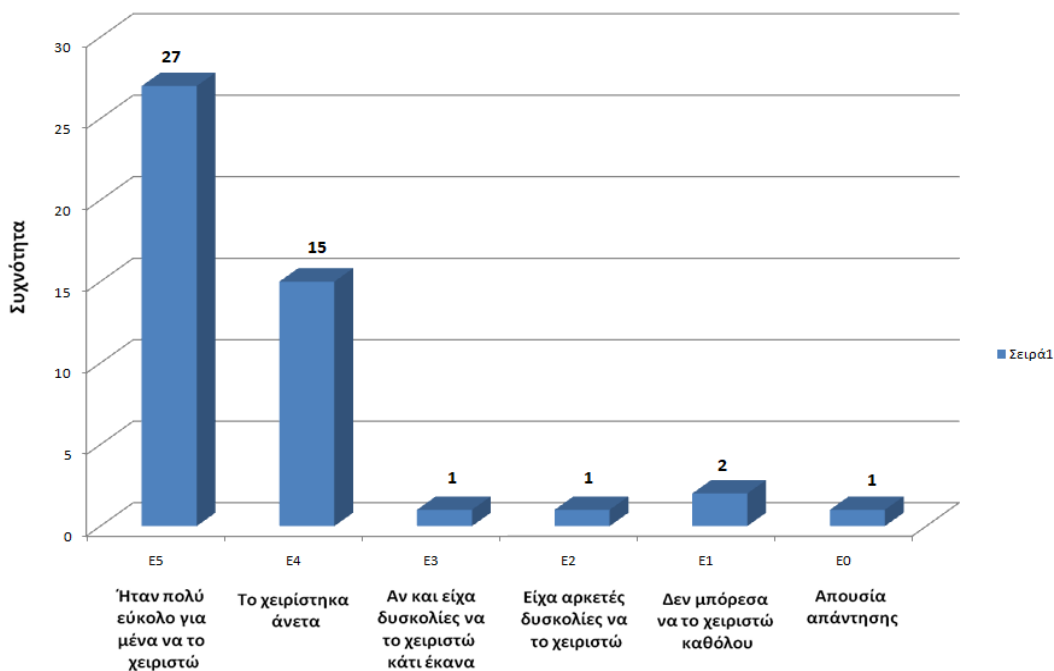
**Γράφημα 5: Απόψεις μαθητών για τον χειρισμό της ΔΡ\_3**

Σύμφωνα με το γράφημα 5, που αφορά τη Δραστηριότητα 3, οι περισσότεροι μαθητές συμφώνησαν με την πρόταση του ερωτηματολογίου «Ήταν πολύ εύκολο για μένα να το χειριστώ» και «Το χειρίστηκα άνετα», τέσσερις από τους μαθητές με την πρόταση «Αν και είχα δυσκολίες να το χειριστώ κάτι έκανα», δύο μαθητές με την πρόταση «Είχα αρκετές δυσκολίες να το χειριστώ». Εδώ συναντάμε για πρώτη φορά την απάντηση «Δεν μπορούσα να το χειριστώ καθόλου» από δύο μαθητές και ένας μαθητής δεν απάντησε.



**Γράφημα 6: Απόψεις μαθητών για τον χειρισμό της ΔΡ\_4**

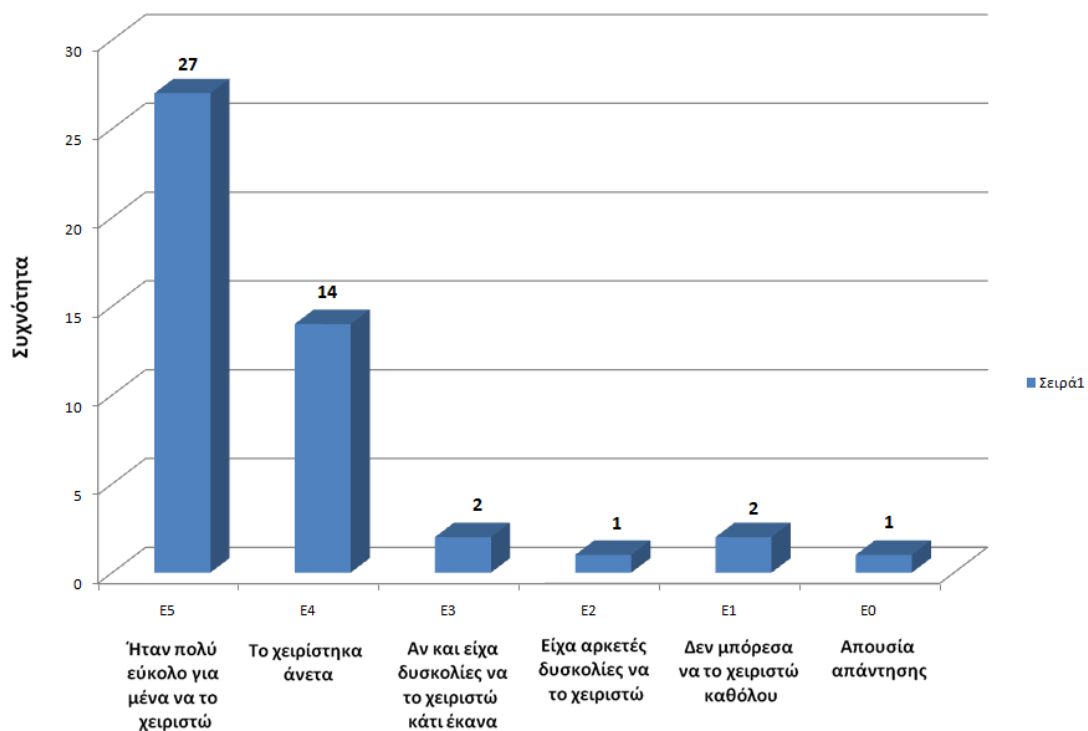
Σύμφωνα με το γράφημα 6, που αφορά τη Δραστηριότητα 4, οι περισσότεροι μαθητές συμφώνησαν με την πρόταση του ερωτηματολογίου «Ήταν πολύ εύκολο για μένα να το χειριστώ» και «Το χειρίστηκα άνετα», εννέα από τους μαθητές με την πρόταση «Αν και είχα δυσκολίες να το χειριστώ κάτι έκανα», ένας μαθητής με την πρόταση «Είχα αρκετές δυσκολίες να το χειριστώ». Τρεις μαθητές με την πρόταση «Δεν μπόρεσα να το χειριστώ καθόλου» και ένας μαθητής δεν απάντησε.



**Γράφημα 7: Απόψεις μαθητών για τον χειρισμό της ΔΡ\_5**

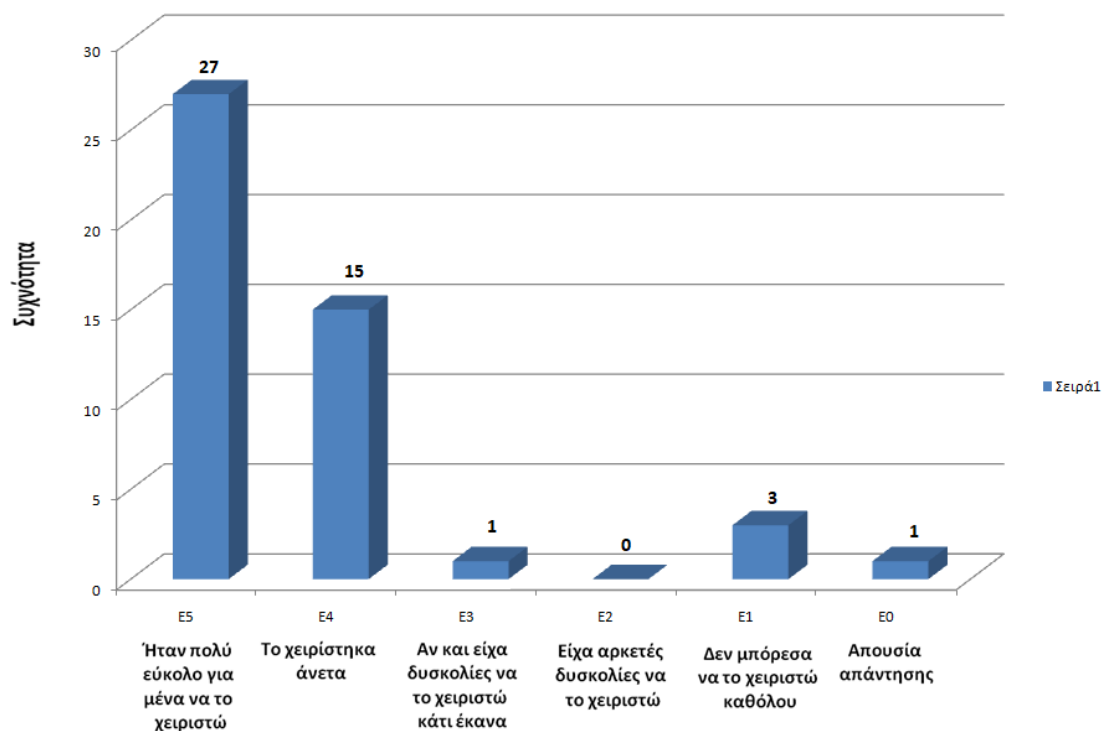
Σύμφωνα με το γράφημα 7, που αφορά τη Δραστηριότητα 5, η πλειοψηφία των μαθητών συμφώνησαν με την πρόταση του ερωτηματολογίου «Ήταν πολύ εύκολο για μένα να το χειριστώ» και «Το χειρίστηκα άνετα», ένας από τους μαθητές με την πρόταση «Αν και είχα δυσκολίες να το χειριστώ κάτι έκανα», ένας μαθητής με την πρόταση «Είχα αρκετές δυσκολίες να το χειριστώ». Δύο μαθητές με την πρόταση «Δεν μπόρεσα να το χειριστώ καθόλου» και ένας μαθητής δεν απάντησε.





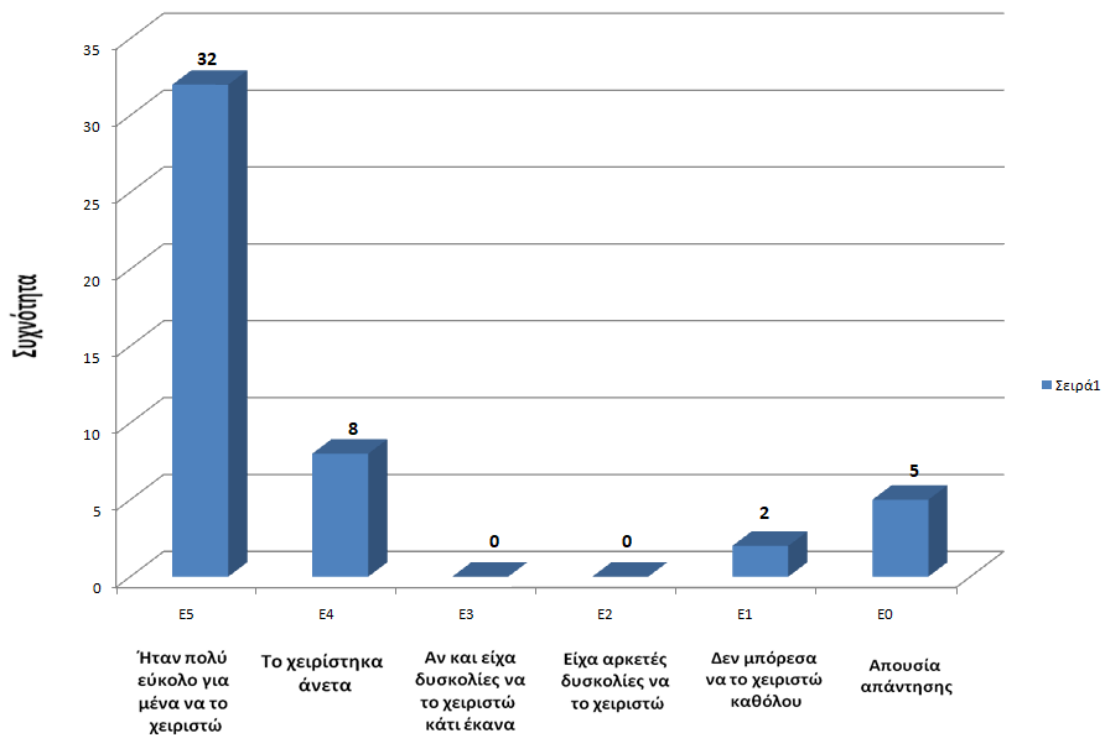
**Γράφημα 8: Απόψεις μαθητών για τον χειρισμό της ΔΡ\_6**

Σύμφωνα με το γράφημα 8, που αφορά τη Δραστηριότητα 6, η πλειοψηφία των μαθητών συμφώνησαν με την πρόταση του ερωτηματολογίου «Ήταν πολύ εύκολο για μένα να το χειριστώ» και «Το χειρίστηκα άνετα», δύο από τους μαθητές με την πρόταση «Αν και είχα δυσκολίες να το χειριστώ κάτι έκανα», ένας μαθητής με την πρόταση «Είχα αρκετές δυσκολίες να το χειριστώ». Δύο μαθητές με την πρόταση «Δεν μπόρεσα να το χειριστώ καθόλου» και ένας μαθητής δεν απάντησε.



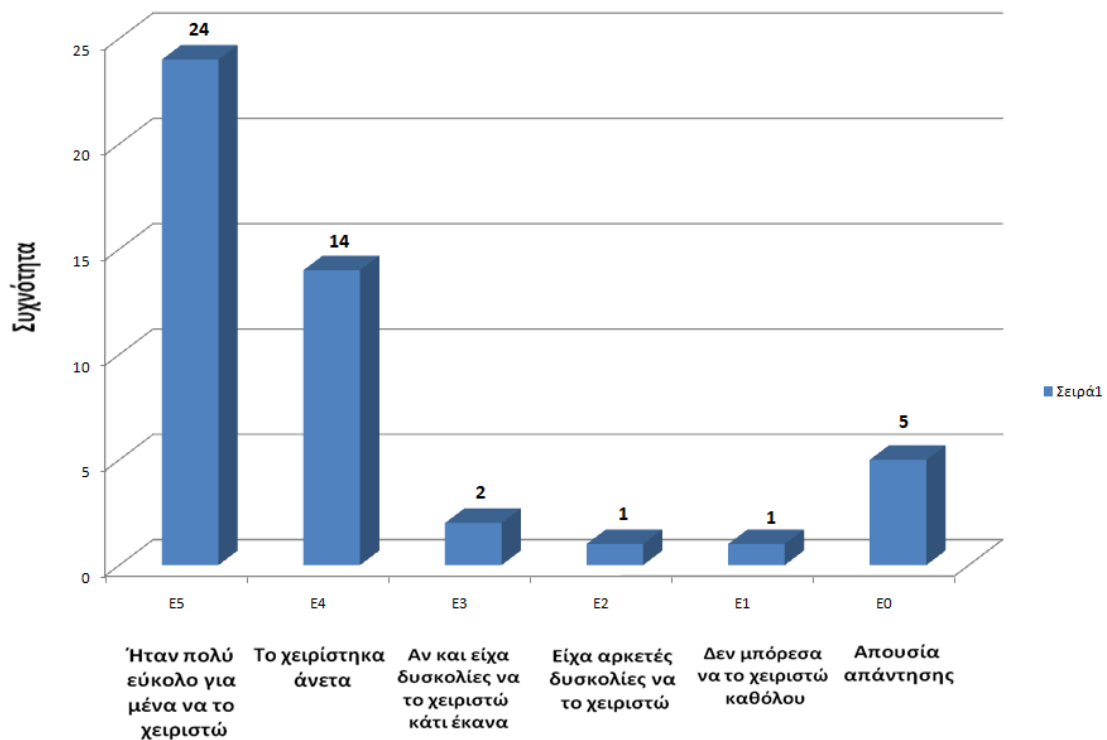
**Γράφημα 9: Απόψεις μαθητών για τον χειρισμό της ΔΡ\_7**

Σύμφωνα με το γράφημα 9, που αφορά τη Δραστηριότητα 7, η πλειοψηφία των μαθητών συμφώνησαν με την πρόταση του ερωτηματολογίου «Ήταν πολύ εύκολο για μένα να το χειριστώ» και «Το χειρίστηκα άνετα», ένας από τους μαθητές με την πρόταση «Αν και είχα δυσκολίες να το χειριστώ κάτι έκανα», τρεις μαθητές με την πρόταση «Δεν μπόρεσα να το χειριστώ καθόλου» και ένας μαθητής δεν απάντησε.



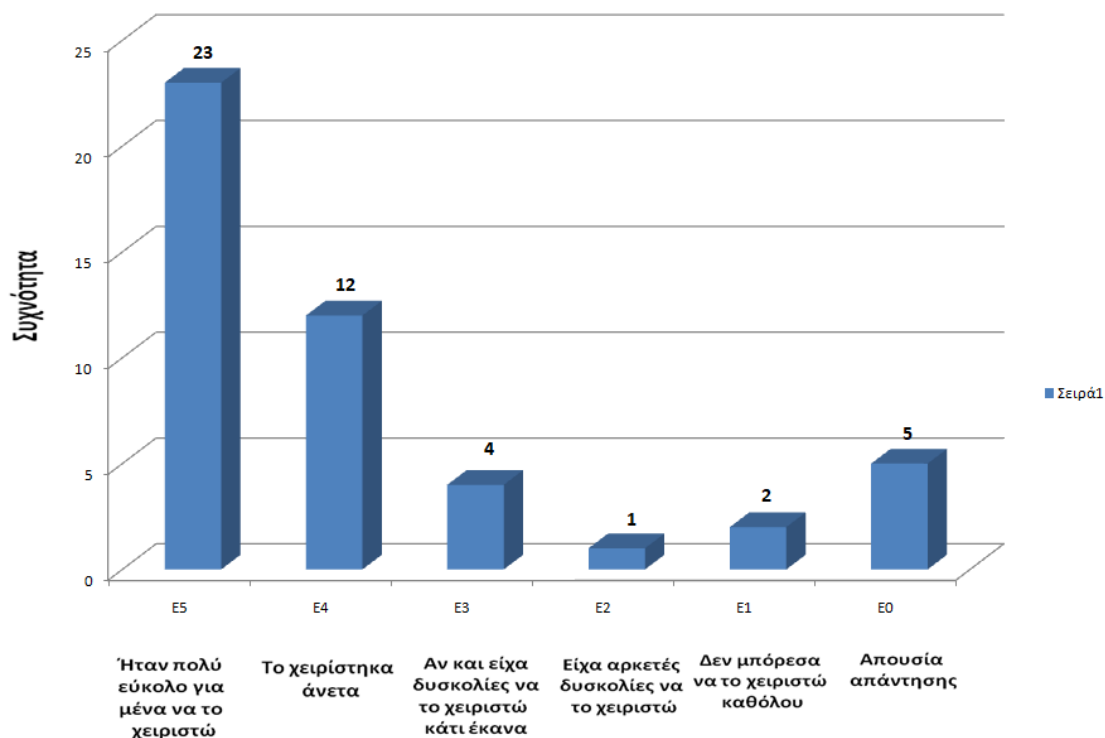
**Γράφημα 10: Απόψεις μαθητών για τον χειρισμό της ΔΡ\_8**

Σύμφωνα με το γράφημα 10, που αφορά τη Δραστηριότητα 8, η πλειοψηφία των μαθητών συμφώνησαν με την πρόταση του ερωτηματολογίου «Ήταν πολύ εύκολο για μένα να το χειριστώ», οκτώ από τους μαθητές με την πρόταση «Το χειρίστηκα άνετα», δύο από τους μαθητές με την πρόταση «Δεν μπόρεσα να το χειριστώ καθόλου» και πέντε μαθητές δεν απάντησαν.



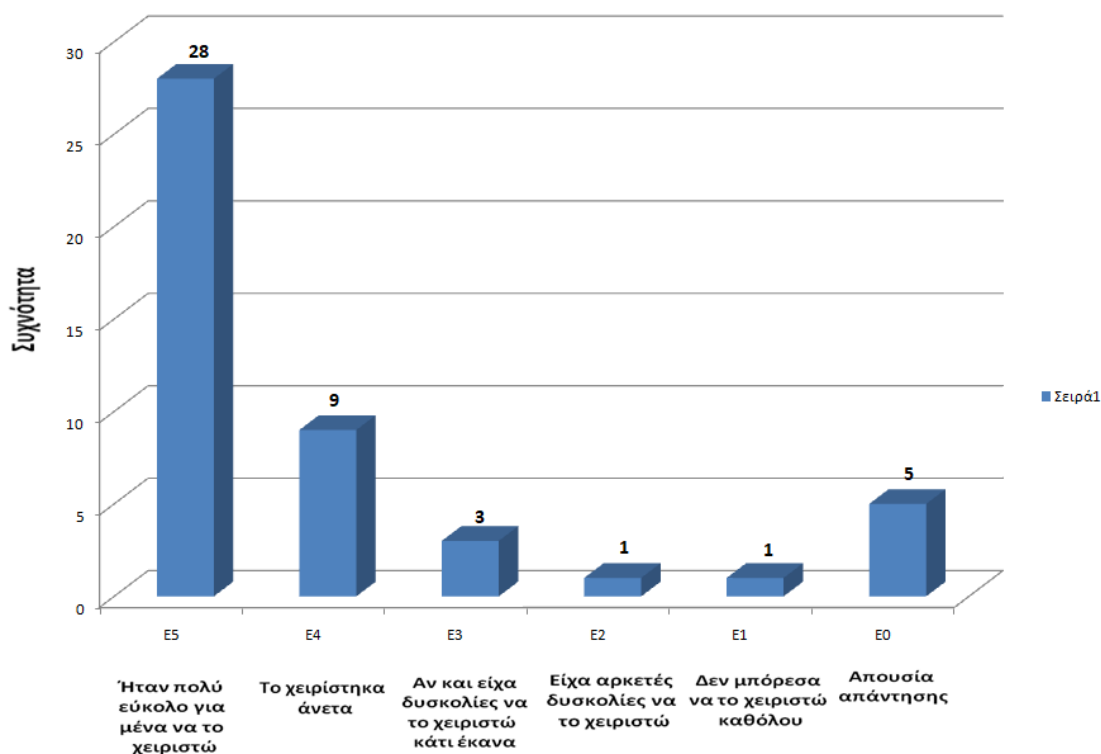
**Γράφημα 11: Απόψεις μαθητών για τον χειρισμό της ΔΡ\_9**

Σύμφωνα με το γράφημα 11, που αφορά τη Δραστηριότητα 9, οι περισσότεροι μαθητές συμφώνησαν με την πρόταση του ερωτηματολογίου «Ήταν πολύ εύκολο για μένα να το χειριστώ» και «Το χειρίστηκα άνετα», δύο από τους μαθητές με την πρόταση «Αν και είχα δυσκολίες να το χειριστώ κάτι έκανα», ένας μαθητής με την πρόταση «Είχα αρκετές δυσκολίες να το χειριστώ». Ένας μαθητής με την πρόταση «Δεν μπόρεσα να το χειριστώ καθόλου» και πέντε μαθητές δεν απάντησαν.



**Γράφημα 12: Απόψεις μαθητών για τον χειρισμό της ΔΡ\_10**

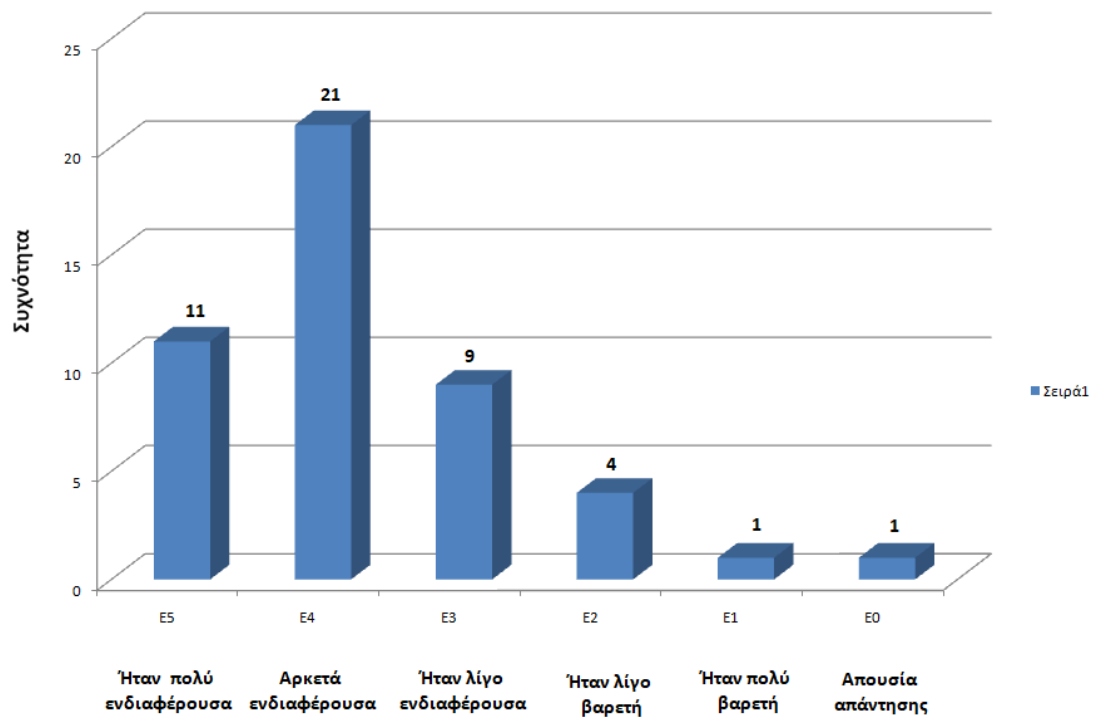
Σύμφωνα με το γράφημα 12, που αφορά τη Δραστηριότητα 10, οι περισσότεροι μαθητές συμφώνησαν με την πρόταση του ερωτηματολογίου «Ήταν πολύ εύκολο για μένα να το χειριστώ» και «Το χειρίστηκα άνετα», τέσσερις από τους μαθητές με την πρόταση «Αν και είχα δυσκολίες να το χειριστώ κάτι έκανα», ένας μαθητής με την πρόταση «Είχα αρκετές δυσκολίες να το χειριστώ». Δύο μαθητές με την πρόταση «Δεν μπόρεσα να το χειριστώ καθόλου» και πέντε μαθητές δεν απάντησαν.



**Γράφημα 13: Απόψεις μαθητών για τον χειρισμό της ΔΡ\_11**

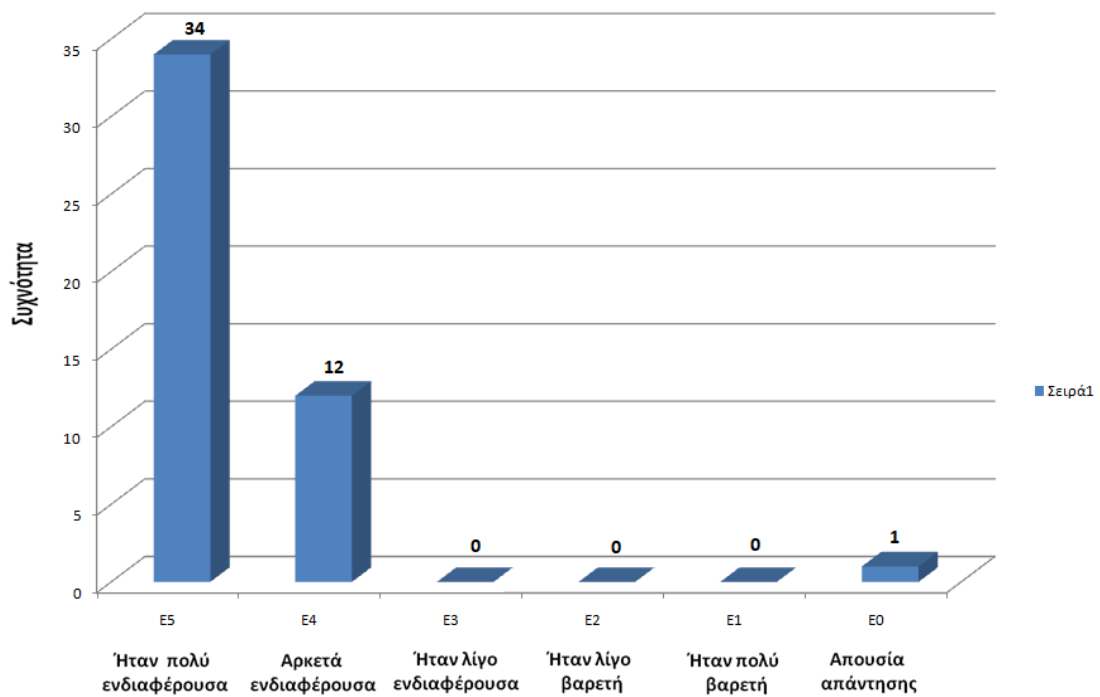
Σύμφωνα με το γράφημα 13, που αφορά τη Δραστηριότητα 11, η πλειοψηφία των μαθητών συμφώνησαν με την πρόταση του ερωτηματολογίου «Ήταν πολύ εύκολο για μένα να το χειριστώ», εννέα από τους μαθητές με την πρόταση «Το χειρίστηκα άνετα», τρεις από τους μαθητές με την πρόταση «Αν και είχα δυσκολίες να το χειριστώ κάτι έκανα», ένας μαθητής με την πρόταση «Είχα αρκετές δυσκολίες να το χειριστώ». Ένας μαθητής με την πρόταση «Δεν μπόρεσα να το χειριστώ καθόλου» και πέντε μαθητές δεν απάντησαν.

**Ερευνητικό Ερώτημα 2: Ποιες ήταν οι απόψεις των μαθητών σχετικά με το ενδιαφέρον που τους προκαλούσε το εκπαιδευτικό υλικό ανά δραστηριότητα;**



**Γράφημα 14: Απόψεις μαθητών για το ενδιαφέρον που προκαλούσε η ΕΡ\_1**

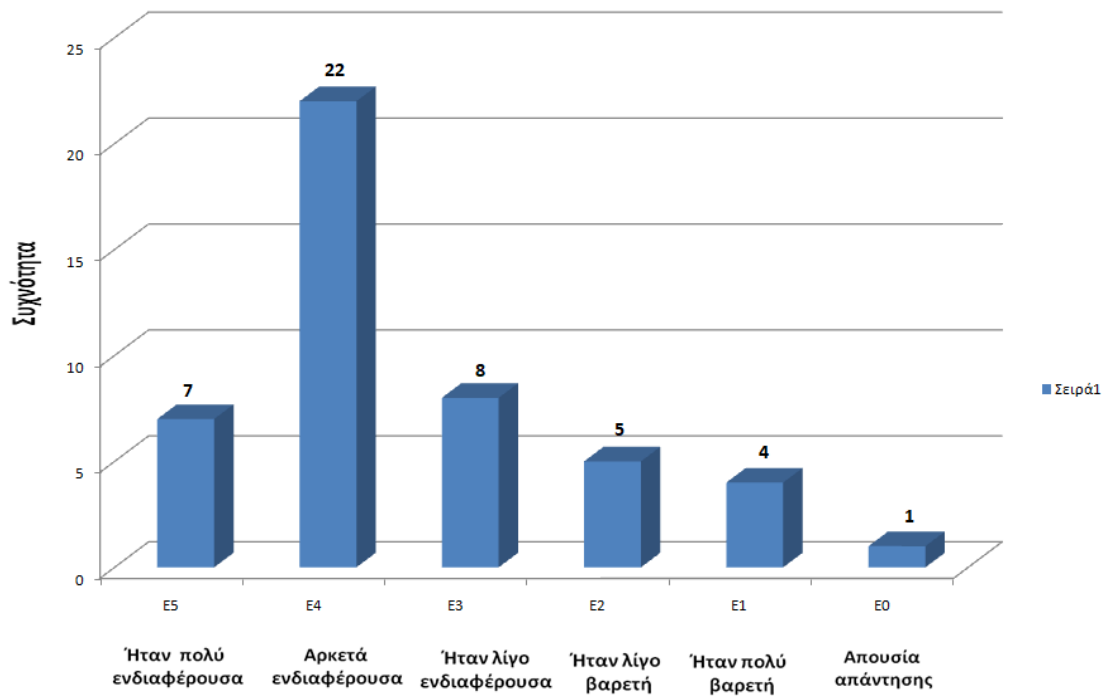
Σύμφωνα με το γράφημα 14, που αφορά το πρώτο ερώτημα για διερεύνηση, οι περισσότεροι μαθητές συμφώνησαν με την πρόταση του ερωτηματολογίου «Αρκετά ενδιαφέρουσα», έντεκα από τους μαθητές με την πρόταση «Ήταν πολύ ενδιαφέρουσα», εννέα από τους μαθητές με την πρόταση «Ήταν λίγο ενδιαφέρουσα», τέσσερις μαθητές με την πρόταση «Ήταν λίγο βαρετή». Ένας μαθητής με την πρόταση «Ήταν πολύ βαρετή» και ένας μαθητής δεν απάντησε.



**Γράφημα 15: Απόψεις μαθητών για το ενδιαφέρον που προκαλούσε η ΔΡ\_1**

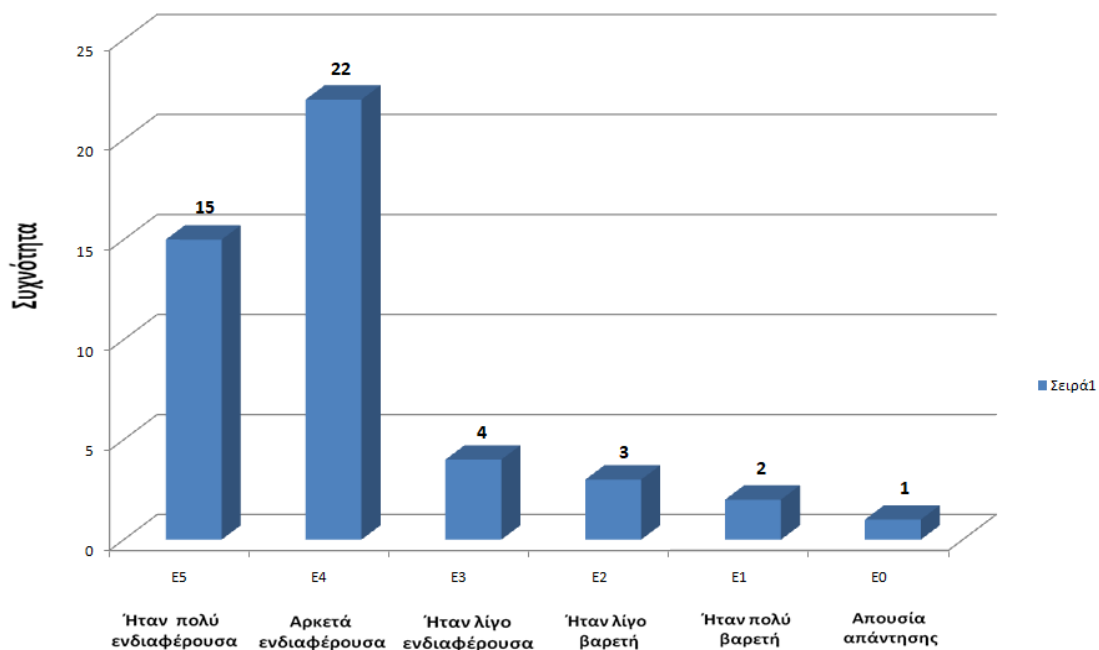
Σύμφωνα με το γράφημα 15, που αφορά τη Δραστηριότητα 1, η πλειοψηφία των μαθητών συμφώνησαν με την πρόταση του ερωτηματολογίου «Ήταν πολύ ενδιαφέρουσα», δώδεκα από τους μαθητές με την πρόταση «Αρκετά ενδιαφέρουσα» και ένας μαθητής δεν απάντησε.





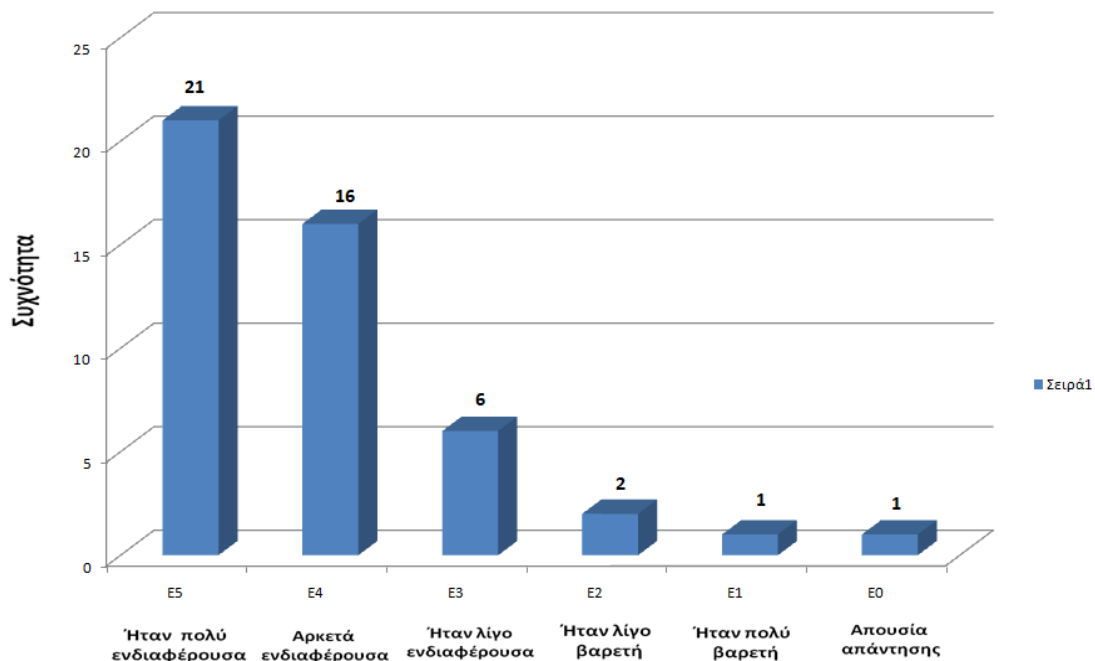
**Γράφημα 16: Απόψεις μαθητών για το ενδιαφέρον που προκαλούσε η ΔΡ\_2α**

Σύμφωνα με το γράφημα 16, που αφορά τη Δραστηριότητα 2α, οι περισσότεροι μαθητές συμφώνησαν με την πρόταση του ερωτηματολογίου «Αρκετά ενδιαφέρουσα», επτά από τους μαθητές με την πρόταση «Ήταν πολύ ενδιαφέρουσα», οκτώ από τους μαθητές με την πρόταση «Ήταν λίγο ενδιαφέρουσα», πέντε μαθητές με την πρόταση «Ήταν λίγο βαρετή». Τέσσερις μαθητές με την πρόταση «Ήταν πολύ βαρετή» και ένας μαθητής δεν απάντησε.



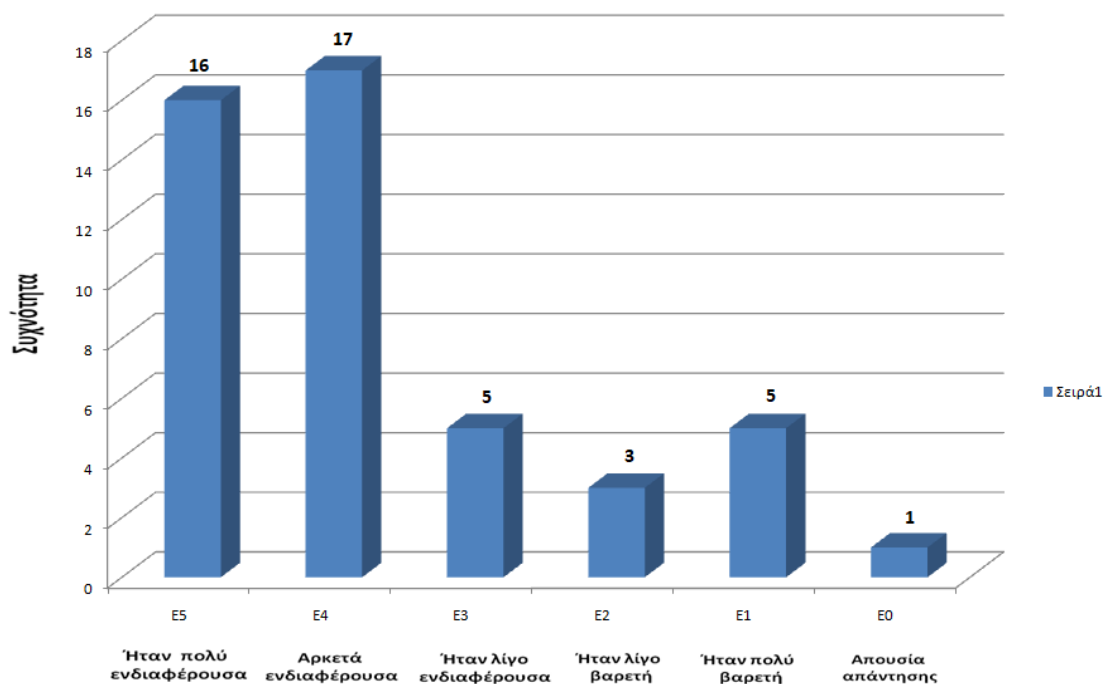
**Γράφημα 17: Απόψεις μαθητών για το ενδιαφέρον που προκαλούσε η ΔΡ\_2β**

Σύμφωνα με το γράφημα 17, που αφορά τη Δραστηριότητα 2β, οι περισσότεροι μαθητές συμφώνησαν με την πρόταση του ερωτηματολογίου «Αρκετά ενδιαφέρουσα» και «Ήταν πολύ ενδιαφέρουσα», τέσσερις από τους μαθητές με την πρόταση «Ήταν λίγο ενδιαφέρουσα», τρεις μαθητές με την πρόταση «Ήταν λίγο βαρετή». Δύο μαθητές με την πρόταση «Ήταν πολύ βαρετή» και ένας μαθητής δεν απάντησε.



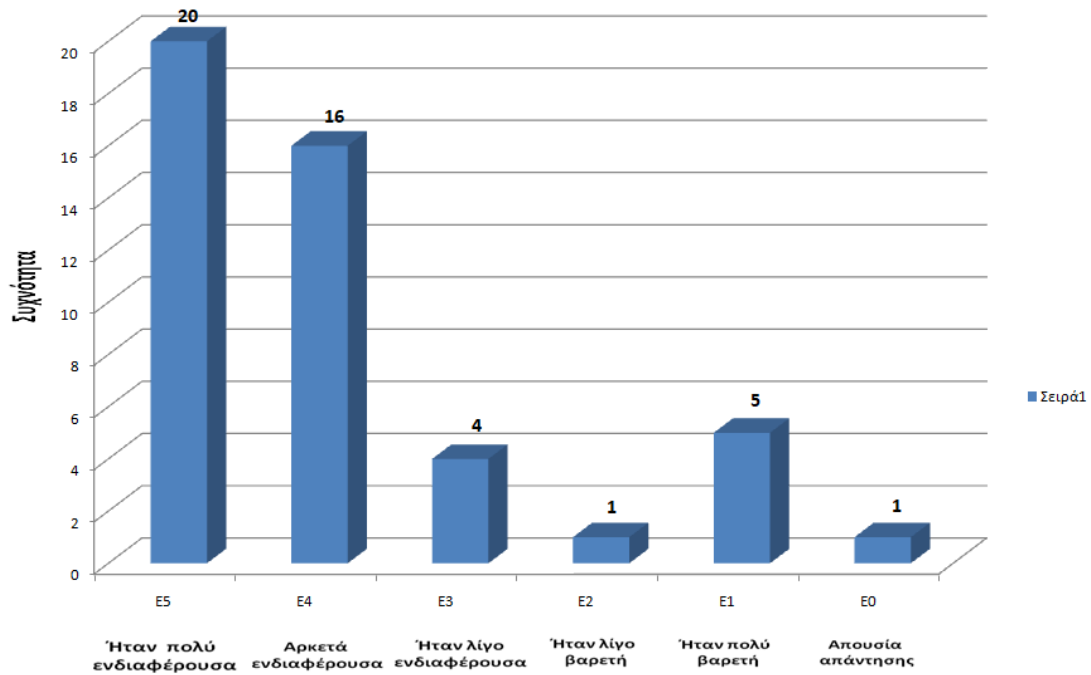
**Γράφημα 18: Απόψεις μαθητών για το ενδιαφέρον που προκαλούσε η ΔΡ\_3**

Σύμφωνα με το γράφημα 18, που αφορά τη Δραστηριότητα 3, οι περισσότεροι μαθητές συμφώνησαν με την πρόταση του ερωτηματολογίου «Ήταν πολύ ενδιαφέρουσα» και «Αρκετά ενδιαφέρουσα», έξι από τους μαθητές με την πρόταση «Ήταν λίγο ενδιαφέρουσα», δύο μαθητές με την πρόταση «Ήταν λίγο βαρετή». Ένας μαθητής με την πρόταση «Ήταν πολύ βαρετή» και ένας μαθητής δεν απάντησε.



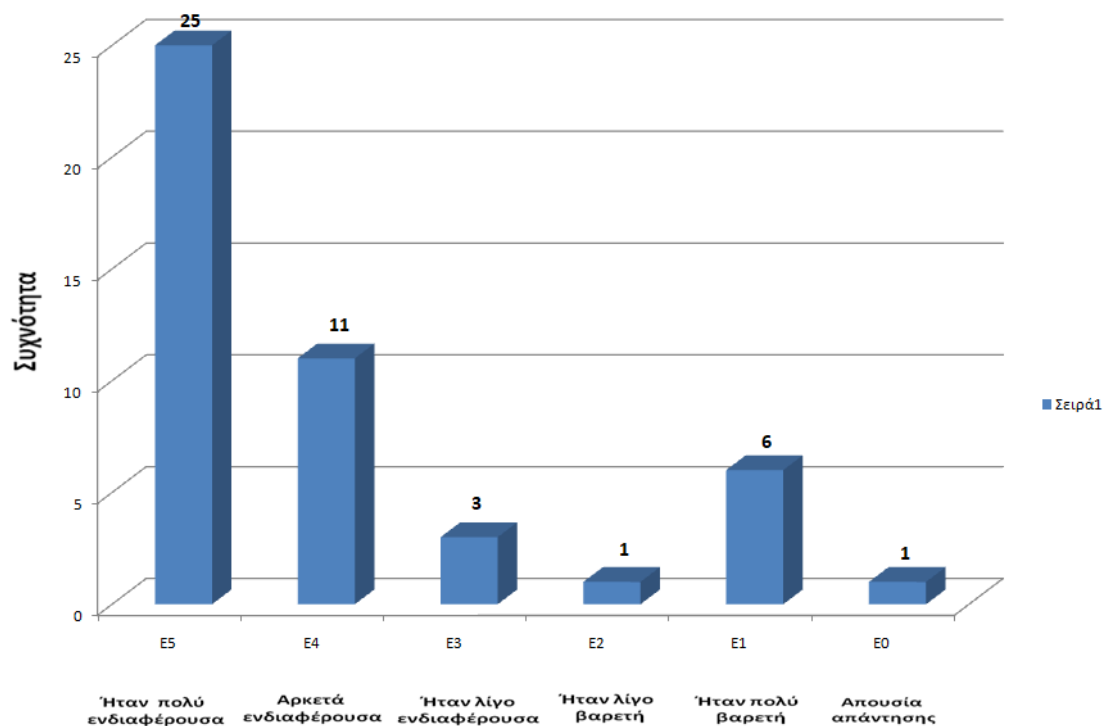
**Γράφημα 19: Απόψεις μαθητών για το ενδιαφέρον που προκαλούσε η ΔΡ\_4**

Σύμφωνα με το γράφημα 19, που αφορά τη Δραστηριότητα 4, οι περισσότεροι μαθητές συμφώνησαν με την πρόταση του ερωτηματολογίου «Αρκετά ενδιαφέρουσα» και «Ήταν πολύ ενδιαφέρουσα», πέντε από τους μαθητές με την πρόταση «Ήταν λίγο ενδιαφέρουσα», τρεις μαθητές με την πρόταση «Ήταν λίγο βαρετή». Πέντε μαθητές με την πρόταση «Ήταν πολύ βαρετή» και ένας μαθητής δεν απάντησε.



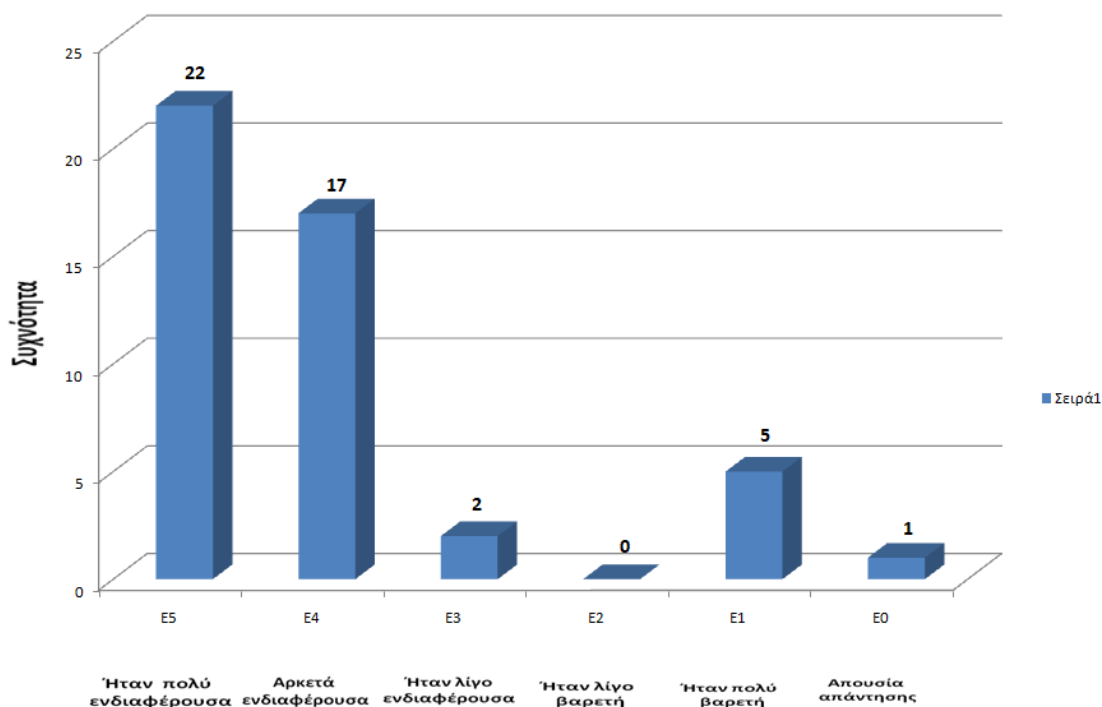
**Γράφημα 20: Απόψεις μαθητών για το ενδιαφέρον που προκαλούσε η ΔΡ\_5**

Σύμφωνα με το γράφημα 20, που αφορά τη Δραστηριότητα 5, οι περισσότεροι μαθητές συμφώνησαν με την πρόταση του ερωτηματολογίου «Ήταν πολύ ενδιαφέρουσα» και «Αρκετά ενδιαφέρουσα», τέσσερις από τους μαθητές με την πρόταση «Ήταν λίγο ενδιαφέρουσα», ένας μαθητής με την πρόταση «Ήταν λίγο βαρετή». Πέντε μαθητές με την πρόταση «Ήταν πολύ βαρετή» και ένας μαθητής δεν απάντησε.



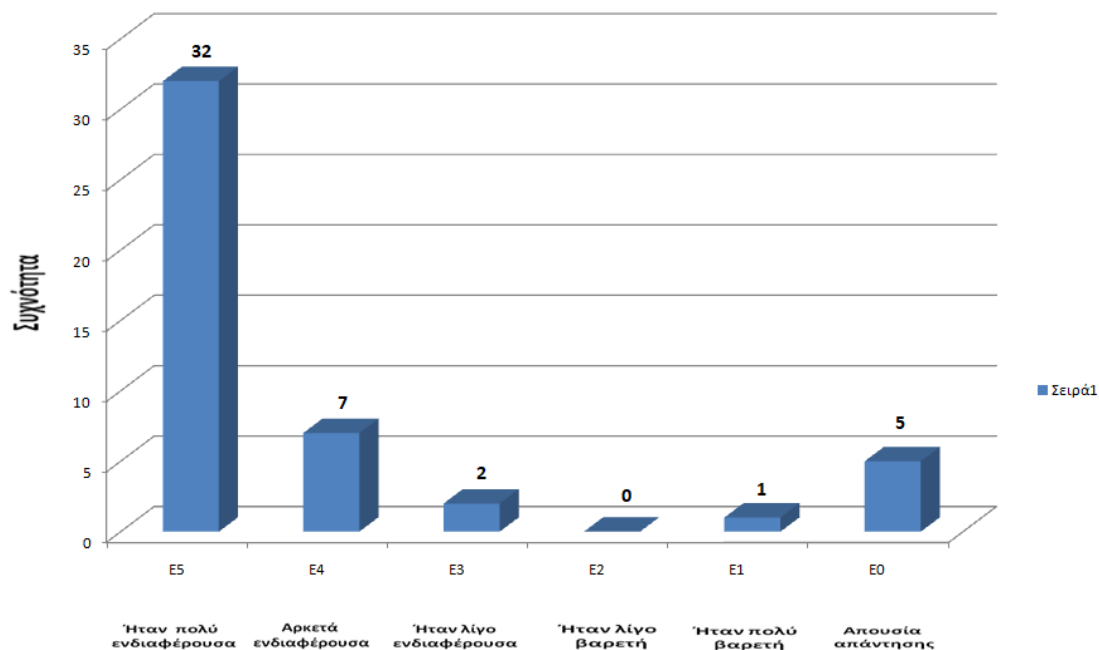
**Γράφημα 21: Απόψεις μαθητών για το ενδιαφέρον που προκαλούσε η ΔΡ\_6**

Σύμφωνα με το γράφημα 21, που αφορά τη Δραστηριότητα 6, η πλειοψηφία των μαθητών συμφώνησαν με την πρόταση του ερωτηματολογίου «Ήταν πολύ ενδιαφέρουσα», έντεκα από τους μαθητές με την πρόταση «Αρκετά ενδιαφέρουσα», τρεις από τους μαθητές με την πρόταση «Ήταν λίγο ενδιαφέρουσα», ένας μαθητής με την πρόταση «Ήταν λίγο βαρετή». Έξι μαθητές με την πρόταση «Ήταν πολύ βαρετή» και ένας μαθητής δεν απάντησε.



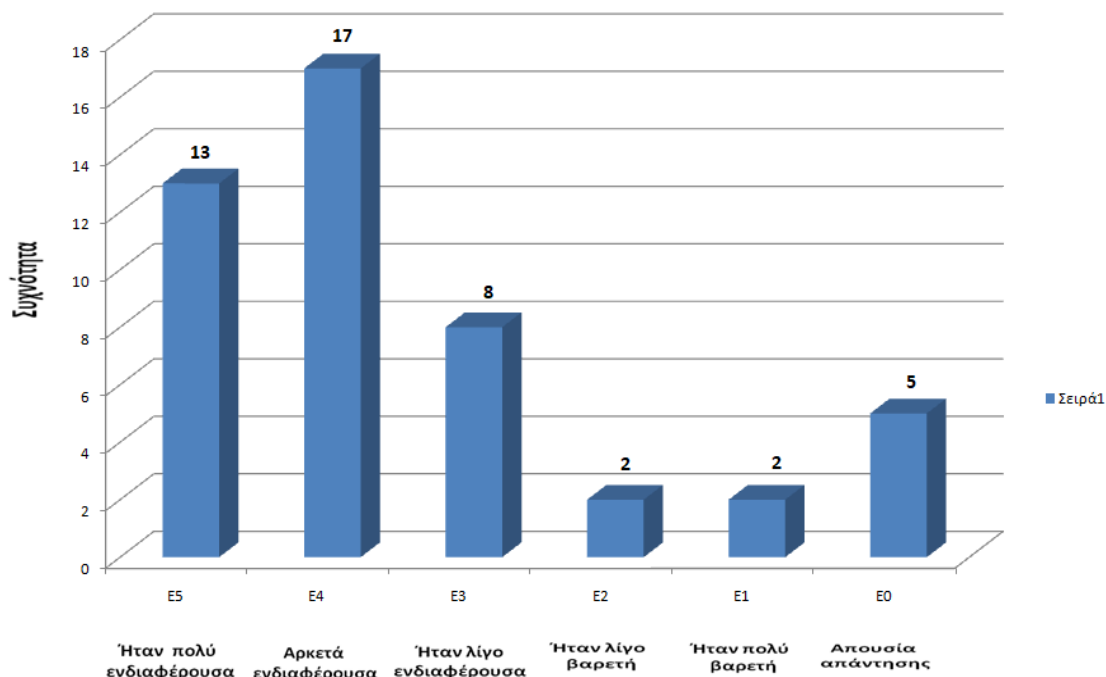
**Γράφημα 22: Απόψεις μαθητών για το ενδιαφέρον που προκαλούσε η ΔΡ\_7**

Σύμφωνα με το γράφημα 22, που αφορά τη Δραστηριότητα 7, οι περισσότεροι μαθητές συμφώνησαν με την πρόταση του ερωτηματολογίου «Ήταν πολύ ενδιαφέρουσα» και «Αρκετά ενδιαφέρουσα», δύο από τους μαθητές με την πρόταση «Ήταν λίγο ενδιαφέρουσα». Πέντε μαθητές με την πρόταση «Ήταν πολύ βαρετή» και ένας μαθητής δεν απάντησε.



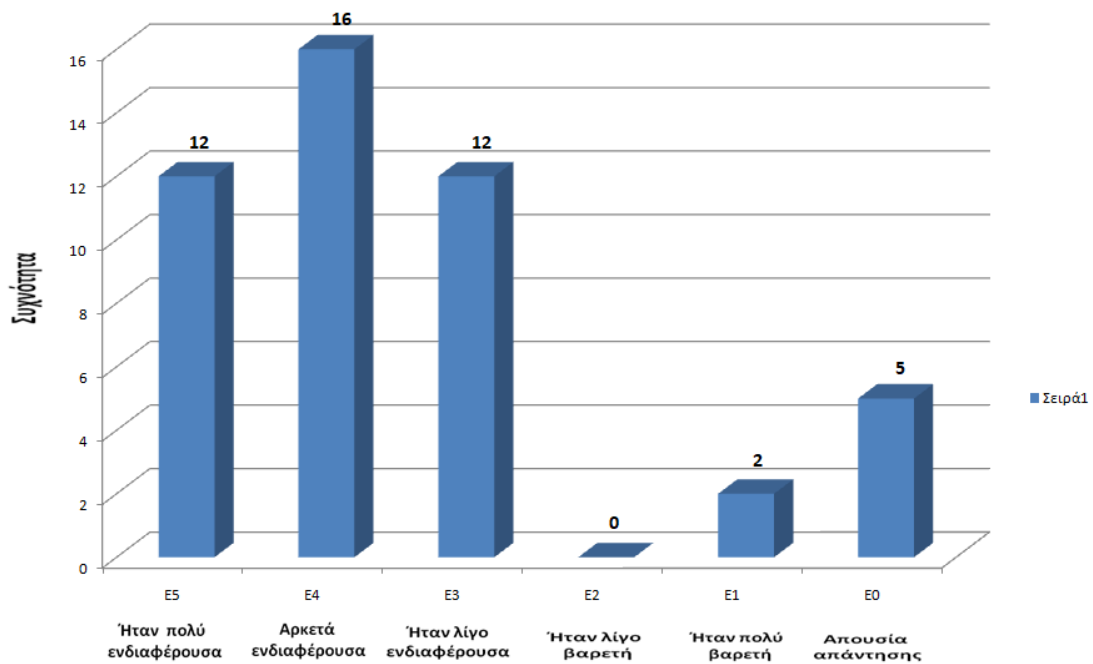
**Γράφημα 23: : Απόψεις μαθητών για το ενδιαφέρον που προκαλούσε η ΔΡ\_8**

Σύμφωνα με το γράφημα 23, που αφορά τη Δραστηριότητα 8, η πλειοψηφία των μαθητών συμφώνησαν με την πρόταση του ερωτηματολογίου «Ήταν πολύ ενδιαφέρουσα», επτά από τους μαθητές με την πρόταση «Αρκετά ενδιαφέρουσα», δύο από τους μαθητές με την πρόταση «Ήταν λίγο ενδιαφέρουσα». Ένας μαθητής με την πρόταση «Ήταν πολύ βαρετή» και πέντε μαθητές δεν απάντησαν.



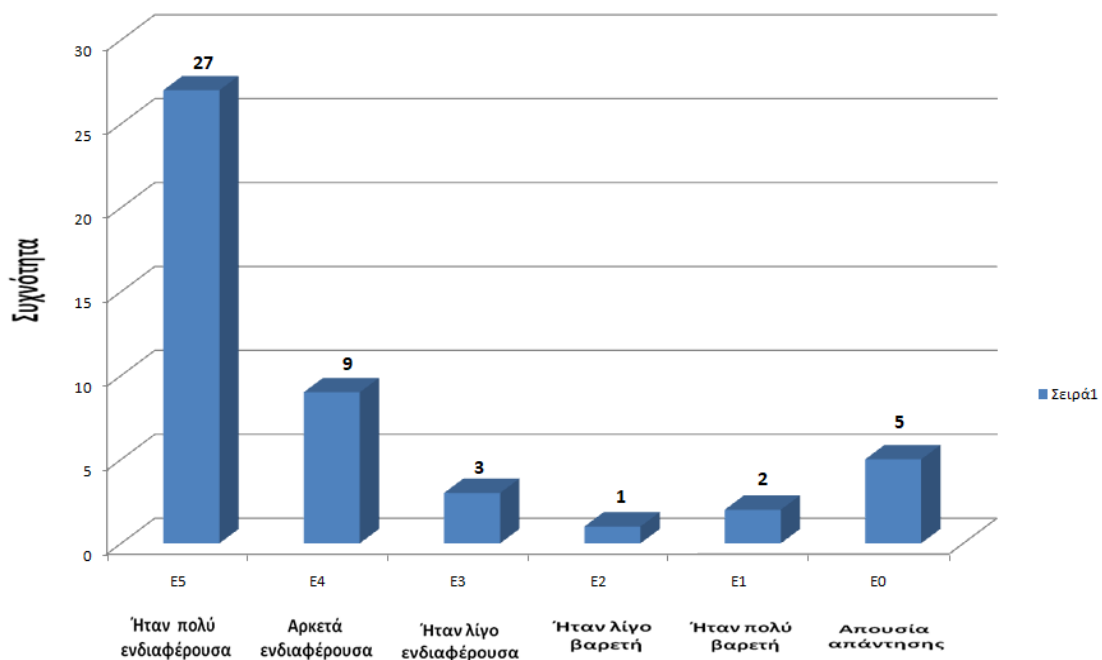
**Γράφημα 24: Απόψεις μαθητών για το ενδιαφέρον που προκαλούσε η ΔΡ\_9**

Σύμφωνα με το γράφημα 24, που αφορά τη Δραστηριότητα 9, οι περισσότεροι μαθητές συμφώνησαν με την πρόταση του ερωτηματολογίου «Αρκετά ενδιαφέρουσα» και «Ήταν πολύ ενδιαφέρουσα», οκτώ από τους μαθητές με την πρόταση «Ήταν λίγο ενδιαφέρουσα», δύο μαθητές με την πρόταση «Ήταν λίγο βαρετή». Δύο μαθητές με την πρόταση «Ήταν πολύ βαρετή» και πέντε μαθητές δεν απάντησαν.



**Γράφημα 25: Απόψεις μαθητών για το ενδιαφέρον που προκαλούσε η ΔΡ\_10**

Σύμφωνα με το γράφημα 25, που αφορά τη Δραστηριότητα 10, δεκαέξι από τους μαθητές συμφώνησαν με την πρόταση του ερωτηματολογίου «Αρκετά ενδιαφέρουσα», δώδεκα από τους μαθητές με την πρόταση «Ήταν πολύ ενδιαφέρουσα», δώδεκα από τους μαθητές με την πρόταση «Ήταν λίγο ενδιαφέρουσα». Δύο μαθητές με την πρόταση «Ήταν πολύ βαρετή» και πέντε μαθητές δεν απάντησαν.



**Γράφημα 26: Απόψεις μαθητών για το ενδιαφέρον που προκαλούσε η ΔΡ\_11**



Σύμφωνα με το γράφημα 26, που αφορά τη Δραστηριότητα 11, η πλειοψηφία των μαθητών συμφώνησαν με την πρόταση του ερωτηματολογίου «Ήταν πολύ ενδιαφέρουσα», εννιά από τους μαθητές με την πρόταση «Αρκετά ενδιαφέρουσα», τρεις από τους μαθητές με την πρόταση «Ήταν λίγο ενδιαφέρουσα», ένας μαθητής με την πρόταση «Ήταν λίγο βαρετή». Δύο μαθητές με την πρόταση «Ήταν πολύ βαρετή» και πέντε μαθητές δεν απάντησαν.

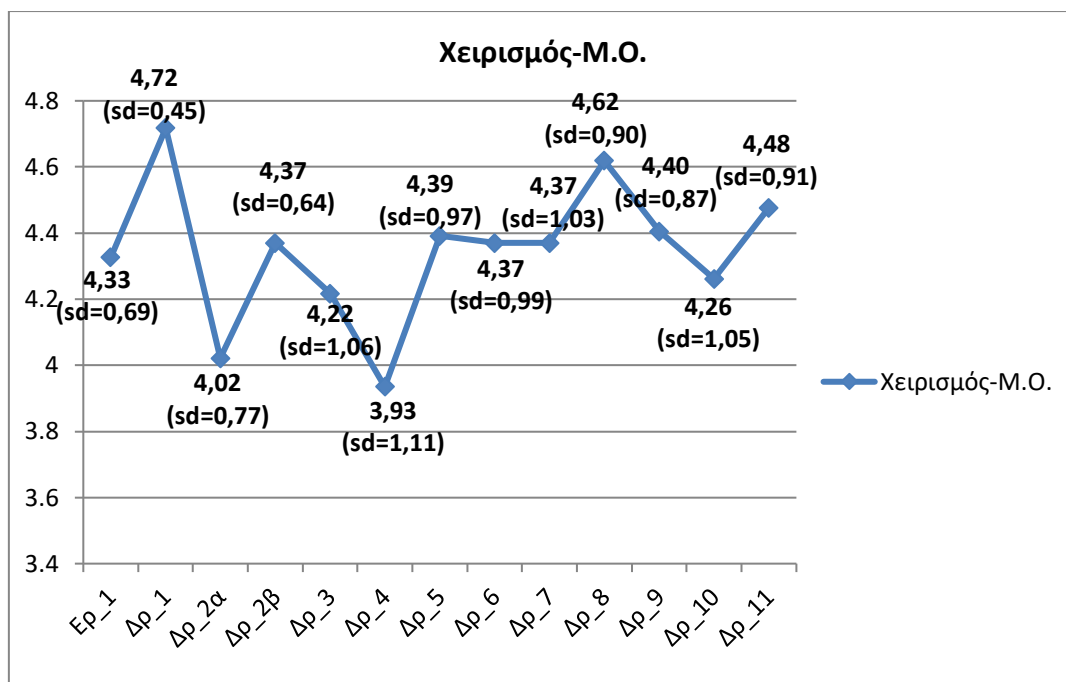
Στη συνέχεια παρουσιάζεται ο μέσος όρος και η τυπική απόκλιση που προέκυψε για κάθε δραστηριότητα από την βαθμολογία των μαθητών όσον αφορά τον χειρισμό και το ενδιαφέρον αντίστοιχα.

### Μέσος όρος-Χειρισμός

Για το μέσο όρο που αφορά τον χειρισμό των δραστηριοτήτων ακολουθεί ο Πίνακας 3 με τις τιμές του μέσου όρου και την τυπική απόκλιση ανά δραστηριότητα και στην συνέχεια το αντίστοιχο γράφημα.

**Πίνακας 5: Χειρισμός – Μέσος Όρος – Τυπική Απόκλιση**

Δραστηριότητες	Μέσος Όρος	Τυπική Απόκλιση
Ερ_1	4,33	0,69
Δρ_1	4,72	0,45
Δρ_2α	4,02	0,77
Δρ_2β	4,37	0,64
Δρ_3	4,22	1,06
Δρ_4	3,93	1,11
Δρ_5	4,39	0,97
Δρ_6	4,37	0,99
Δρ_7	4,37	1,03
Δρ_8	4,62	0,90
Δρ_9	4,40	0,87
Δρ_10	4,26	1,05
Δρ_11	4,48	0,91



Γράφημα 27: Μέσος όρος για τον χειρισμό των δραστηριοτήτων

Όπως φαίνεται, η δραστηριότητα 1 συγκέντρωσε τη μεγαλύτερη βαθμολογία, δηλαδή οι μαθητές τη χειρίστηκαν με τη μεγαλύτερη ευκολία. Ενώ η δραστηριότητα 4 συγκέντρωσε τη μικρότερη βαθμολογία και ήταν αυτή που δυσκόλεψε περισσότερο τους μαθητές. Παρατηρείται ότι οι δραστηριότητες με πραγματικά πειράματα όπου οι μαθητές έριχναν σταγόνες σε υλικά και παρατηρούσαν το σχήμα και τη συμπεριφορά της σταγόνας, όπως είναι οι δραστηριότητες 1 και 8 ήταν εύκολες για τους μαθητές στο χειρισμό. Από την άλλη οι δραστηριότητες που περιείχαν μετρήσεις και υπολογισμούς όπως η 2α όπου μετρούσαν με μοιρογνωμόνιο τις γωνίες επαφής και η δραστηριότητα 4 όπου μετρούσαν την απόσταση των μικροπροεξοχών, δυσκόλεψαν περισσότερο τους μαθητές.

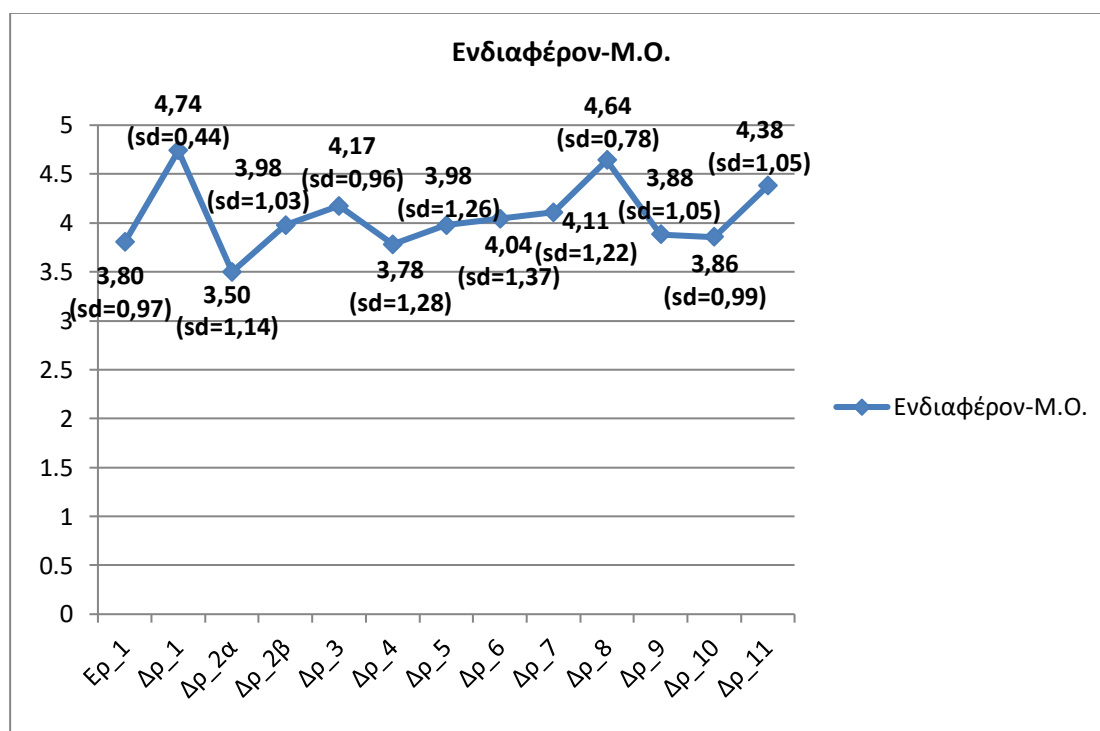
### Μέσος όρος-Ενδιαφέρον

Για το μέσο όρο που αφορά το ενδιαφέρον των δραστηριοτήτων ακολουθεί ο Πίνακας 4 με τις τιμές του μέσου όρου και την τυπική απόκλιση ανά δραστηριότητα και στην συνέχεια το αντίστοιχο γράφημα.

Πίνακας 6: Ενδιαφέρον – Μέσος Όρος – Τυπική Απόκλιση

Δραστηριότητες	Μέσος Όρος	Τυπική Απόκλιση
Ερ_1	3,80	0,97
Δρ_1	4,74	0,44
Δρ_2α	3,50	1,14
Δρ_2β	3,98	1,03

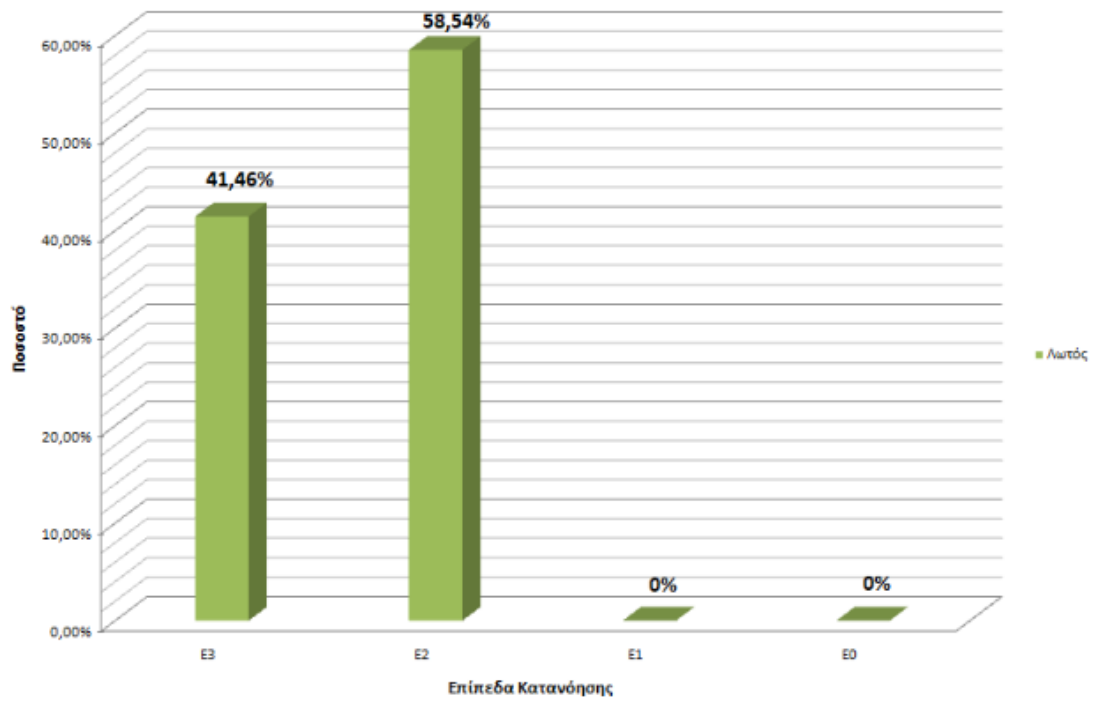
Δρ_3	4,17	0,96
Δρ_4	3,78	1,28
Δρ_5	3,98	1,26
Δρ_6	4,04	1,37
Δρ_7	4,11	1,22
Δρ_8	4,64	0,78
Δρ_9	3,88	1,05
Δρ_10	3,86	0,99
Δρ_11	4,38	1,05



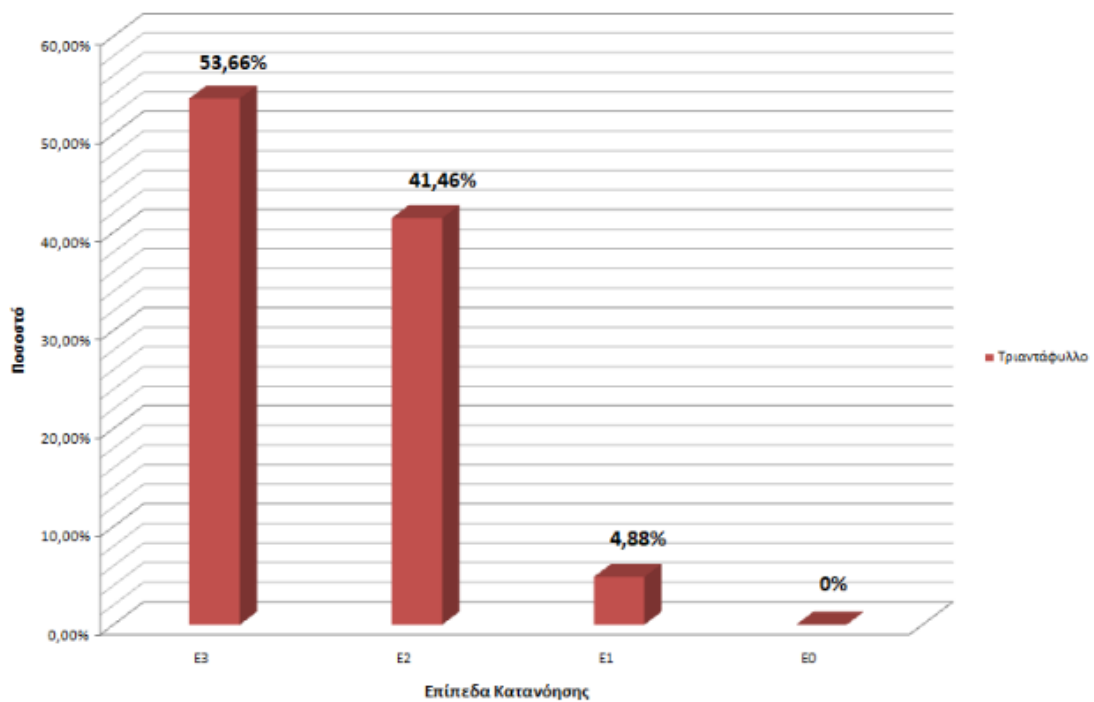
Γράφημα 28: Μέσος όρος για το ενδιαφέρον των δραστηριοτήτων

Όπως φαίνεται, η δραστηριότητα 1 συγκέντρωσε τη μεγαλύτερη βαθμολογία, δηλαδή οι μαθητές παρουσίασαν μεγαλύτερο ενδιαφέρον για αυτήν. Ενώ η δραστηριότητα 2α συγκέντρωσε τη μικρότερη βαθμολογία και ήταν αυτή που είχε το μικρότερο ενδιαφέρον για τους μαθητές. Παρατηρείται ότι οι δραστηριότητες με πραγματικά πειράματα όπου οι μαθητές έριχναν σταγόνες σε υλικά και παρατηρούσαν και κατέγραφαν το σχήμα και τη συμπεριφορά της σταγόνας, όπως είναι οι δραστηριότητες 1 και 8 ήταν περισσότερο ενδιαφέρουσες για τους μαθητές. Από την άλλη οι δραστηριότητες που περιείχαν μετρήσεις και υπολογισμούς όπως η 2α όπου μετρούσαν με μοιρογνωμόνιο τις γωνίες επαφής και η δραστηριότητα 4 όπου μετρούσαν την απόσταση των μικροπροεξοχών, ήταν λιγότερο ενδιαφέρουσες για τους μαθητές.

ΕΕ3-Ερευνητικό Ερώτημα 3: Πως διαμορφώθηκαν οι απόψεις των μαθητών για το λωτό και το τριαντάφυλλο στη διάρκεια των δραστηριοτήτων;

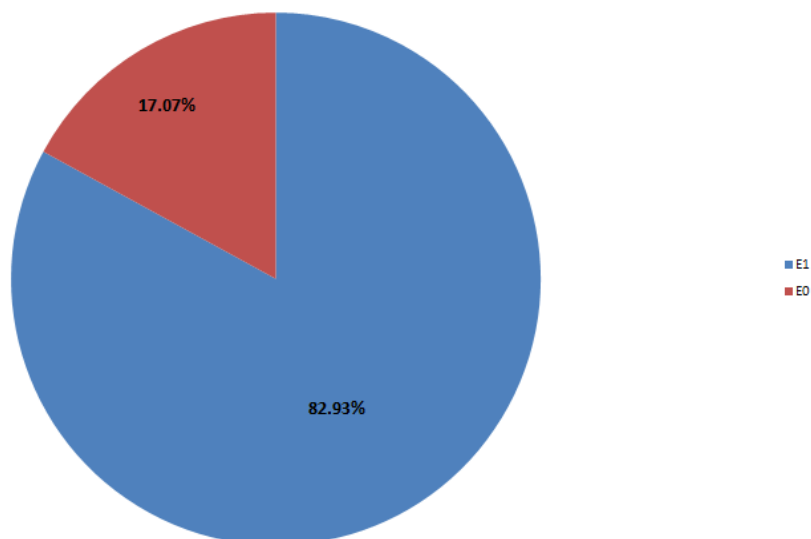


Γράφημα 29: Αναπαράσταση ιεραρχικής δομής (μίκρο και νάνο δομή) και σωστή τοποθέτηση σταγόνας στο φύλλο του λωτού



**Γράφημα 30: Αναπαράσταση ιεραρχικής δομής (μικρο και νάνο δομή) και σωστή τοποθέτηση σταγόνας στο πέταλο του τριαντάφυλλου**

**Διαφορετική τοπογραφία**



**Γράφημα 31: Σαφής αναπαράσταση διαφορετικής τοπογραφίας ή/και διαφορετική συμπεριφορά της σταγόνας στα φύλλα του λωτού και του τριαντάφυλλου**

Το γράφημα 29 σχετίζεται με την αναπαράσταση/ζωγραφιά των μαθητών που πραγματοποίησαν στο τέλος του τρίτου δίωρου (τελευταίο), και καλούνταν να σχεδιάσουν την επιφάνεια του φύλλου του λωτού καθώς και τη σταγόνα πάνω στο σκίτσο που έφτιαξαν. Η πλειοψηφία των μαθητών (59,52%), κατατάχθηκε στο

επίπεδο κατανόησης E2, επειδή είτε σχεδίασε την ιεραρχική δομή (μίκρο και νάνο δομή) αλλά υπήρχε ασάφεια ως προς τη θέση της σταγόνας, είτε σχεδίασε μόνο την μικροδομή της επιφάνειας του φύλλου. Οι υπόλοιποι μαθητές (40,48%) κατατάχθηκαν στο επίπεδο κατανόησης E3, σχεδίασαν την ιεραρχική δομή (μίκρο και νάνο δομή) και τοποθέτησαν σωστά τη σταγόνα.

Το γράφημα 30 σχετίζεται με την αναπαράσταση/ζωγραφιά των μαθητών που πραγματοποίησαν στο τέλος του τρίτου δώρου (τελευταίο), και καλούνταν να σχεδιάσουν την επιφάνεια του φύλλου του τριαντάφυλλου καθώς και τη σταγόνα πάνω στο σκίτσο που έφτιαξαν. Η πλειοψηφία των μαθητών (54,76%), κατατάχθηκε στο επίπεδο κατανόησης E3, σχεδίασαν την ιεραρχική δομή (μίκρο και νάνο δομή) και τοποθέτησαν σωστά τη σταγόνα. Οι αμέσως επόμενοι σε ποσοστό μαθητές (40,48%) κατατάχθηκαν στο επίπεδο κατανόησης E2, επειδή είτε σχεδίασαν την ιεραρχική δομή (μίκρο και νάνο δομή) αλλά υπήρχε ασάφεια ως προς τη θέση της σταγόνας, είτε σχεδίασαν μόνο την μικροδομή της επιφάνειας του φύλλου. Οι υπόλοιποι μαθητές (4,76%) κατατάχθηκαν στο επίπεδο κατανόησης E1, επειδή είτε παρουσίασαν το φύλλο επίπεδο, είτε έκαναν μακροσκοπική περιγραφή του φαινομένου (πχ σταγόνα πάνω στο φύλλο).

Τέλος, στο γράφημα 31 παρουσιάζονται τα ποσοστά των μαθητών όπου έκαναν ή όχι σαφή αναπαράσταση της διαφορετικής τοπογραφίας των επιφανειών των δύο φύλλων ή/και της διαφορετικής συμπεριφοράς της σταγόνας. Συγκεκριμένα φαίνεται πως η πλειοψηφία των μαθητών (83,33%) κατατάχθηκε στο επίπεδο κατανόησης E1, και έκαναν σαφή αναπαράσταση της διαφορετικής τοπογραφίας ή/και της διαφορετικής συμπεριφοράς της σταγόνας, ενώ οι υπόλοιποι μαθητές (16,67%) όχι.

## 5<sup>ο</sup>Κεφάλαιο: Συμπεράσματα - Συζήτηση

Στο κεφάλαιο αυτό, παρουσιάζονται τα συμπεράσματα που προκύπτουν από την παρούσα έρευνα και επιχειρείται η σύνδεση αυτών και των αποτελεσμάτων της έρευνας με τη διεθνή και την εγχώρια βιβλιογραφία, σχετικά με το περιεχόμενο της N-ET και συγκεκριμένα με το φαινόμενο της υπέρ-υδροφοβικότητας.

### 5.1 – Συμπεράσματα

#### 5.1.1 – Απόψεις μαθητών αναφορικά με το ενδιαφέρον και το χειρισμό των δραστηριοτήτων

Κατά τη διάρκεια των δραστηριοτήτων, μελετήθηκαν οι απόψεις των μαθητών σχετικά με το ενδιαφέρον που ανέπτυξαν σε καθμία από αυτές αλλά και κατά πόσο εύκολα ή δύσκολα τις χειρίστηκαν (ΕΕ1 και ΕΕ2). Η ανάλυση των δεδομένων έδειξε ότι οι μαθητές σχημάτισαν μια θετική άποψη σχετικά με τις δραστηριότητες και ότι δεν αντιμετώπισαν ιδιαίτερη δυσκολία κατά την εκτέλεσή τους.

Συγκεκριμένα, όσον αφορά το ενδιαφέρον, οι δραστηριότητες που αναδείχθηκαν περισσότερο ενδιαφέρουσες για τους μαθητές ήταν εκείνες που αποτελούνταν από πραγματικά πειράματα (Δρ 1, Δρ 8), όπου οι μαθητές έριχναν σταγόνες σε υλικά και παρατηρούσαν και κατέγραφαν το σχήμα και την συμπεριφορά της σταγόνας. Γεγονός που συμβαδίζει με την βιβλιογραφία, όπου φαίνεται να μεγαλώνει το ενδιαφέρον για δραστηριότητες πρακτικές (“hands-on laboratory work”) και πραγματικά πειράματα πάνω σε φαινόμενα της νανοκλίμακας στη φύση (Cheng et al., 2014). Σε παρόμοιες έρευνες οι οποίες κατέγραφαν το ενδιαφέρον των μαθητών μετά την υλοποίηση δραστηριοτήτων πάνω σε φαινόμενα της N-ET (φαινόμενο λωτού, φαινόμενο σαύρας Gecko) (Γκίτσας, 2017, Σακελλάρη, 2019), η πλειοψηφία των μαθητών απέδωσε θετικές απόψεις για τις παρεμβάσεις.

Η θετική στάση των μαθητών στην αλληλεπίδρασή τους με φαινόμενα της N-ET, έρχεται σε συμφωνία με τη βιβλιογραφία όπου παρουσιάζεται ελκυστικός και ενδιαφέρον ο τομέας της N-ET για τους μαθητές. Από τη μία μεριά φαίνεται ότι τα φαινόμενα της φύσης που σχετίζονται με τη νανοκλίμακα μπορούν να προκαλέσουν το ενδιαφέρον των μαθητών (Sakhnini & Blonder, 2015, Filiponi & Sutherland, 2010) και από την άλλη η N-ET σαν τεχνολογία αιχμής φαίνεται να είναι ιδανική για ένα μαθησιακό περιβάλλον με νόημα, το οποίο σχετίζεται με τις εμπειρίες και τα βιώματα των μαθητών (Σπύρτου, Μάνου, Πέικος, & Παπαδοπούλου, 2018).

Μέσα από έρευνες ανιχνεύθηκε η θετική στάση και το ενδιαφέρον των μαθητών ως προς τη N-ET. Συγκεκριμένα, στην έρευνα των Schönborn, Höst, & Lundin Palmerius (2015), η πλειοψηφία του δείγματος απάντησε θετικά για το ενδιαφέρον ως προς τη N-ET. Κάτι αντίστοιχο προέκυψε και από τη έρευνα των Sahin & Ekli (2013) με τους περισσότερους μαθητές να έχουν θετικά συναισθήματα και απόψεις. Σε έρευνα που

πραγματοποίησε η Ευρωπαϊκή Επιτροπή (2010), Όσον αφορά το ενδιαφέρον και τη στάση τους απέναντι στη νανοτεχνολογία υπήρξαν θετικές και αρνητικές σκέψεις. Οι θετικές είχαν να κάνουν κυρίως με την ιατρική, την πληροφορική, τις τηλεπικοινωνίες και την προστασία του περιβάλλοντος, ενώ οι αρνητικές με την προσοχή για εξασφάλιση της ιδιωτικής ζωής, της προστασίας των καταναλωτών και του περιβάλλοντος αλλά και της υγείας. Όπως για παράδειγμα οι πιθανοί κίνδυνοι χρήσης συγκεκριμένων προϊόντων που περιέχουν νανοσωματίδια, όπως κάλτσες, ζακέτες με GPS, γυαλιά ηλίου, e-paper. Επίσης, μέσα από την έρευνα των Δρογγίτη, Πέικος, Μάνου & Σπύρτου (2015), προκύπτουν θετικές ενδείξεις για την πρόκληση ενδιαφέροντος στους μαθητές από την εφαρμογή της ΔΜΣ πάνω σε θέματα νανοτεχνολογίας. Τέλος, στη έρευνα των Blonder & Sakhini (2015), όπου οι μαθητές παρακολούθησαν ένα συνέδριο με θέμα τη νανοτεχνολογία, όλοι οι μαθητές δήλωσαν ότι τους άρεσε η συμμετοχή στο συνέδριο, όλοι παρακολούθησαν τις διαλέξεις και την έκθεση νανοτεχνολογίας και συμφώνησαν ότι αξίζει να συμμετέχουν στο συνέδριο και ότι ο τομέας της νανοτεχνολογίας είναι ελκυστικός όσον αφορά τα μελλοντικά τους σχέδια.

Όσον αφορά τον χειρισμό των δραστηριοτήτων, δεν εντοπίστηκαν ιδιαίτερες δυσκολίες στην διάρκεια εκτέλεσης των δραστηριοτήτων. Οι δραστηριότητες με πραγματικά πειράματα όπου οι μαθητές έριχναν σταγόνες σε υλικά και παρατηρούσαν το σχήμα και τη συμπεριφορά της σταγόνας, όπως είναι οι δραστηριότητες 1 και 8 ήταν εύκολες για τους μαθητές στο χειρισμό. Ενώ οι δραστηριότητες που περιείχαν μετρήσεις και υπολογισμούς όπως η 2<sup>α</sup> όπου μετρούσαν με μοιρογνωμόνιο τις γωνίες επαφής και η δραστηριότητα 4 όπου μετρούσαν την απόσταση των μικροπροεξοχών, δυσκόλεψαν περισσότερο τους μαθητές.

### **5.1.2 - Απόψεις των μαθητών για το λωτό και το τριαντάφυλλο στη διάρκεια των δραστηριοτήτων**

Μελετώντας τις αναπαραστάσεις/ζωγραφιές των μαθητών (ΕΕ3), ανιχνεύθηκαν οι απόψεις των μαθητών για το λωτό και τριαντάφυλλο στη διάρκεια των δραστηριοτήτων. Συγκεκριμένα οι μαθητές έφτιαχναν τις αναπαραστάσεις των φύλλων σε όλη τη διάρκεια των δραστηριοτήτων, αναθεωρώντας ή συμπληρώνοντας τα σκίτσα τους σύμφωνα με τις νέες πληροφορίες που συγκέντρωναν. Στην έρευνα αναλύσαμε τα δύο τελευταία σκίτσα των μαθητών, τα οποία έφτιαξαν στο τελευταίο δίωρο και μέσα από τα οποία αναπαριστούσαν την επιφάνεια του φύλλου του λωτού και του πέταλου του τριαντάφυλλου καθώς και τη σταγόνα πάνω τους.

Για το φύλλο του λωτού, παρατηρείται ότι η πλειοψηφία των μαθητών είτε σχεδίασε την ιεραρχική δομή (μικρο και νάνο δομή) αλλά υπήρχε ασάφεια ως προς τη θέση της σταγόνας, είτε σχεδίασε μόνο την μικροδομή της επιφάνειας του



φύλλου. Οι υπόλοιποι μαθητές σχεδίασαν την ιεραρχική δομή (μικρο και νάνο δομή) και τοποθέτησαν σωστά τη σταγόνα.

Για το πέταλο του τριαντάφυλλου, παρατηρείται ότι η πλειοψηφία των μαθητών σχεδίασαν την ιεραρχική δομή (μικρο και νάνο δομή) και τοποθέτησαν σωστά τη σταγόνα. Οι αμέσως επόμενοι σε ποσοστό μαθητές είτε σχεδίασαν την ιεραρχική δομή (μικρο και νάνο δομή) αλλά υπήρχε ασάφεια ως προς τη θέση της σταγόνας, είτε σχεδίασαν μόνο την μικροδομή της επιφάνειας του φύλλου. Και ένα μικρό ποσοστό μαθητών είτε παρουσίασαν το φύλλο επίπεδο, είτε έκαναν μακροσκοπική περιγραφή του φαινομένου (πχ σταγόνα πάνω στο φύλλο).

Για τη διαφορετική τοπογραφία της επιφάνειας των δύο φύλλων, η πλειοψηφία των μαθητών έκαναν σαφή αναπαράσταση της διαφορετικής τοπογραφίας ή/και της διαφορετικής συμπεριφοράς της σταγόνας.

Ένα σχόλιο που μπορούμε να κάνουμε, κυρίως για το φύλλο του λωτού είναι ότι κάποιοι μαθητές ενώ σχεδίαζαν τη μικροδομή και τη διαφορετική τοπογραφία των επιφανειών των δύο φύλλων παρέλειπαν να σχεδιάσουν τη νανοδομή.

Τέλος, ένα γενικό σχόλιο για τις αναπαραστάσεις των μαθητών είναι πως στην πορεία των δραστηριοτήτων ανέπτυξαν το νανογραμματισμό τους περιγράφοντας το φαινόμενο, σχεδιάζοντας την ιεραρχική δομή της επιφάνειας των φύλλων με μικρο και νάνο εξογκώματα, σχεδίασαν τη σταγόνα και τη διαφορετική τοπογραφία των δύο φύλλων. Σε παρόμοια αποτελέσματα κατέληξαν έρευνες όπως τις παρουσίασαν ο Πέικος (2016), ο Γκίτσας (2017), η Τασσοπούλου (2017).

### **5.1.3 – Γενικές παρατηρήσεις από την παρέμβαση**

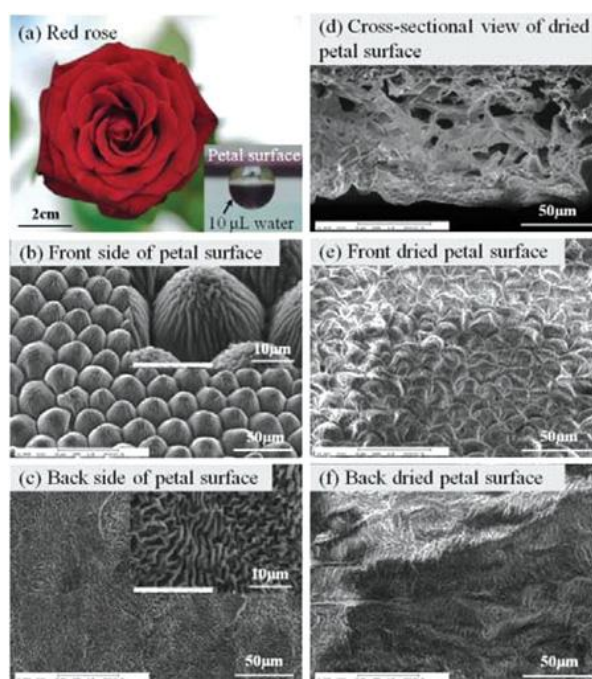
Όπως παρουσιάστηκε αναλυτικά παραπάνω, προκύπτει ένα θετικό πρόσημο σχετικά με το ενδιαφέρον και το χειρισμό των δραστηριοτήτων. Καθώς επίσης και στην εξέλιξη των αναπαραστάσεων (ζωγραφιών) των μαθητών οι οποίοι ανέπτυξαν το νανογραμματισμό τους στην πορεία των δραστηριοτήτων. Όλα αυτά ενισχύουν θετικά το εκπαιδευτικό υλικό για την πιθανότητα ένταξής του σε μία μελλοντική Διδακτική Μαθησιακή Ακολουθία (DMA).

Στα αρνητικά τις συγκεκριμένης παρέμβασης, μπορούμε να τοποθετήσουμε τον περιορισμένο σχετικά διαθέσιμο χρόνο (3 δίωρα στο πλαίσιο της θεματικής εβδομάδας), κάτι που ίσως έδωσε περισσότερο καθοδηγούμενο τόνο στην παρέμβαση.

Επίσης μία αξιοσημείωτη παρατήρηση είναι πως κατά τις δραστηριότητες 2 και 3, όπου οι μαθητές μετρούσαν γωνίες επαφής με το παραδοσιακό μοιρογνωμόνιο και με το λογισμικό «OnScreenProtactor», η πλειοψηφία των μαθητών προτίμησε να κάνει μετρήσεις με το λογισμικό, και απέδωσε θετικά χαρακτηριστικά στην συγκεκριμένη μέθοδο όπως για παράδειγμα μεγαλύτερη ακρίβεια μετρήσεων.

Επιπλέον η πλειοψηφία των μαθητών και μάλιστα κάποιοι μαθητές οι οποίοι δεν είχαν ιδιαίτερη συμμετοχή μέσα στην τάξη όταν έρχονταν η στιγμή να σχεδιάσουν το έκαναν με ιδιαίτερη χαρά, κάτι που έρχεται σε συμφωνία με την βιβλιογραφία (Carvalho et al, 2004).

Τέλος, όσον αφορά το εκπαιδευτικό υλικό, θα μπορούσαμε να κάνουμε μία παρατήρηση σχετικά με την εικόνα ηλεκτρονικού μικροσκοπίου από το πέταλο του τριαντάφυλλου την οποία χρησιμοποιήσαμε για να μετρήσουν τις αποστάσεις των μικροπροεξοχών οι μαθητές. Στην εικόνα παρουσιάζεται ένα αποξηραμένο πέταλο και όχι ένα νωπό το οποίο θα είχε πιο φαρδιές θηλές. Στο συγκεκριμένο διδακτικό μετασχηματισμό όπου οι μαθητές καλούνταν να μετρήσουν μόνο την απόσταση των μικροπροεξοχών αυτή η εικόνα ήταν κατάλληλη αλλά σε κάποια άλλη μελλοντική δραστηριότητα όπου οι μαθητές θα καλούνταν να μελετήσουν και το σχήμα των μικροπροεξοχών ίσως ήταν καταλληλότερη μία εικόνα από νωπό πέταλο τριαντάφυλλου ώστε να αποφευχθούν οι αλλοιώσεις λόγω συρρίκνωσης.



**Εικόνα 41: Διαφορά εικόνων ηλεκτρονικού μικροσκοπίου από νωπά και αποξηραμένα πέταλα τριαντάφυλλου (Tsai & Shih, 2012)**

Γενικά, κατά τη χρήση του ηλεκτρονικού μικροσκοπίου σάρωσης (SEM), απαιτείται η προετοιμασία των επιφανειών των φυτών. Συνήθως τα βιολογικά δείγματα αφυδατώνονται με κατάλληλες μεθόδους ξήρανσης και επικαλύπτονται με λεπτό μεταλλικό στρώμα για να επιτευχθεί επαρκής ηλεκτρική αγωγιμότητα. Παρόλα αυτά πολλά μέρη φυτών όπως για παράδειγμα τα φύλλα τους, καλύπτονται με μία επιδερμίδα (cuticle), που τους παρέχει μηχανική αντοχή και χαμηλή διαπερατότητα στο νερό. Η ανθεκτικότητα και η μικρή ταχύτητα εξάτμισης του νερού, επιτρέπουν την εξέταση των δειγμάτων των φυτών χωρίς ξήρανση, ώστε να αποφευχθεί για

παράδειγμα η συρρίκνωση. Πολλά δείγματα μπορούν να εξεταστούν σε νωπή κατάσταση, λόγω της χαμηλής διαπερατότητας της επιδερμίδας τους. Αρκετές τεχνικές προετοιμασίας των επιφανειών, διατηρούν ακέραιη την επιφάνεια χωρίς αυτή να βυθιστεί σε κάποιο υγρό, γεγονός ιδιαίτερα σημαντικό για τη μελέτη εύθραυστων επιφανειακών κηρών σε υπέρ-υδρόφοβες επιφάνειες όπως για παράδειγμα στο φύλλο του λωτού (πχ ξήρανση με κατάψυξη-αποφυγή αλλοιώσεων) (Ensikat et al., 2010).

## 5.2 – Περιορισμοί της έρευνας και προτάσεις για το μέλλον

Στους περιορισμούς της συγκεκριμένης έρευνας, αρχικά θα μπορούσαμε να αναγνωρίσουμε τον διαθέσιμο χρόνο όπου αν σε μελλοντική έρευνα ήταν μεγαλύτερος θα μπορούσε να επιτρέψει στις δραστηριότητες να έχουν ένα λιγότερο καθοδηγούμενο χαρακτήρα διερεύνησης. Επίσης θα ήταν σημαντικό να αυξηθεί ο αριθμός των συμμετεχόντων αλλά και ίσως να υπάρχουν μαθητές από διαφορετικά σχολικά περιβάλλοντα.

Επιπλέον, παρατηρήθηκε ότι τη χαμηλότερη βαθμολογία τόσο στο ενδιαφέρον όσο και στον χειρισμό των δραστηριοτήτων είχαν οι δραστηριότητες που περιείχαν μετρήσεις και υπολογισμούς όπως η 2α όπου μετρούσαν τις γωνίες επαφής και η δραστηριότητα 4 όπου μετρούσαν την απόσταση των μικροπροεξοχών, σε αντίθεση με εκείνες που περιελάμβαναν πραγματικά πειράματα. Το γεγονός αυτό ίσως να είναι ενθαρρυντικό στην εισαγωγή δραστηριοτήτων με περισσότερα πραγματικά πειράματα ώστε να διατηρείται αμείωτο το ενδιαφέρον των μαθητών.

Μία επιπλέον πρόταση η οποία θα μας έδινε περισσότερα αποτελέσματα και θα συμπλήρωνε τα δεδομένα θα ήταν να χρησιμοποιηθεί σαν επιπλέον ερευνητικό εργαλείο η ημιδομημένη συνέντευξη σε επιλεγμένο δείγμα. Επίσης θα ήταν χρήσιμη η συνέντευξη για να δώσουν οι μαθητές κάποιες επιπλέον πληροφορίες για κάποια σκίτσα που παρουσίαζαν κάποιες ασάφειες.

Όσον αφορά το εκπαιδευτικό υλικό οι μαθητές μελέτησαν την τοπογραφία των επιφανειών των φύλλων του λωτού και του τριαντάφυλλου μετρώντας τις αποστάσεις της μικροδομής (βήμα), σε μία μελλοντική παρέμβαση θα μπορούσαν να μελετήσουν το σχήμα και το ύψος των μικρό-προεξοχών.

Ακόμη, το εκπαιδευτικό υλικό θα μπορούσε να ενισχυθεί αν εμπλουτίζονταν με δραστηριότητες οι οποίες να έδιναν έμφαση στην MI9 η οποία δεν αναπτύχθηκε ιδιαίτερα. Και τέλος ίσως να μπορούσε να δοκιμαστεί πέρα από τη μέτρηση της γωνίας επαφής την οποία δούλεψαν μέσα από τις δραστηριότητες οι μαθητές, η μέτρηση της υστέρησης της γωνίας επαφής. Γεγονός που θα τους έδινε μετρήσιμα αποτελέσματα για την κύλιση ή όχι της σταγόνας.

## Βιβλιογραφικές Αναφορές

- Βελέντζας, Α., Δημητριάδη, Κ., Μανδρίκας, Α., Μαργαρίτης, Α., Σάλτα, Κ. (2015). Εφαρμογή Διδακτικής Ενότητας σε θέματα Νανοτεχνολογίας. Στο Δ. Ψύλλος, Α. Μολοχίδης & Μ. Καλλέρη (Επιμ.), Διδασκαλία και Μάθηση στις Φυσικές Επιστήμες και την Τεχνολογία: Έρευνες, Καινοτομίες και Πρακτικές, *Πρακτικά του 9<sup>ου</sup> Πανελληνίου συνεδρίου των Φυσικών Επιστημών και Νέων Τεχνολογιών στην Εκπαίδευση* (σσ. 53-59). Θεσσαλονίκη: Παιδαγωγικό Τμήμα Δημοτικής Εκπαίδευσης, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο.
- Bhushan, B. (Ed.). (2010). *Springer Handbook of Nanotechnology*. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg.
- Bhushan, B. (2012). *Biomimetics*. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg.
- Bhushan, B., & Nosonovsky, M. (2010). The rose petal effect and the modes of superhydrophobicity. *Philosophical Transactions of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences*, 368(1929), 4713–4728.
- Blonder, R., Joselevich, E., & Cohen, S. R. (2010). Atomic Force Microscopy: Opening the Teaching Laboratory to the Nanoworld. *Journal of Chemical Education*, 87(12), 1290–1293.
- 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).
- Bryman, A. (2017). Μέθοδοι κοινωνικής έρευνας έρευνα (επιμ. ΑΑϊδίνης, μπφρ Π. Σακελλαρίου). Αθήνα: Gutenberg
- Busà, C., Rickard, J. J. S., Chun, E., Chong, Y., Navaratnam, V., & Goldberg Oppenheimer, P. (2017). Tunable superapolar Lotus-to-Rose hierarchical nanosurfaces via vertical carbon nanotubes driven electrohydrodynamic lithography. *Nanoscale*, 9(4), 1625–1636.
- Γκίτσας, Σ. (2017). Το φαινόμενο του Λωτού στο Δημοτικό Σχολείο: Σχεδιασμός, Ανάπτυξη και Αξιολόγηση Εκπαιδευτικού Υλικού σε Περιβάλλον Μη-Τυπικής Εκπαίδευσης (Μεταπτυχιακή Εργασία). Πανεπιστήμιο Δυτικής Μακεδονίας: Φλώρινα.
- Carré, A., & Mittal, K. L. (2009). *Superhydrophobic surfaces*. Leiden; Boston: VSP. Retrieved from
- Carvalho, G. S., Silva, R., Lima, N., Coquet, E., & Clément, P. (2004). Portuguese primary school children's conceptions about digestion: identification of learning obstacles. *International Journal of Science Education*, 26(9), 1111–1130.
- 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.

- 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 A*, 4 (1), 48-53
- Chin, W. S., Sow, C. H., & Wee, A. T. S. (2010). *Science at the nanoscale: an introductory textbook*. Singapore: Pan Stanford Publishing.
- Choo, S., Choi, H.-J., & Lee, H. (2014). Replication of rose-petal surface structure using UV-nanoimprint lithography. *Materials Letters*, 121, 170–173.
- Cohen, L., Manion, L., & Morrison, K. (2007). *Research methods in education* (6th ed). London ; New York: Routledge.
- Δρογγίτη, Ε., Πέικος, Γ., Μάνου, Α. & Σπύρτου, Α. (2015). Διδασκαλία της Νανοεπιστήμης – Νανοτεχνολογίας (N-ET) στο δημοτικό σχολείο: μελέτη του ενδιαφέροντος των μαθητών για τη N-ET. Στο Δ. Ψύλλος, Α. Μολοχίδης & Μ. Καλλέρη (Επμ.), Διδασκαλία και Μάθηση στις Φυσικές Επιστήμες και την Τεχνολογία: Έρευνες, Καινοτομίες και Πρακτικές, *Πρακτικά του 9<sup>ου</sup> Πανελληνίου συνεδρίου των Φυσικών Επιστημών και Νέων Τεχνολογιών στην Εκπαίδευση* (σσ. 1073-1080). Θεσσαλονίκη: Παιδαγωγικό Τμήμα Δημοτικής Εκπαίδευσης, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο.
- Delgado, C., Stevens, S. Y., Shin, N., Yunker, M., & Krajcik, J. (2007, April). The development of students' conceptions of size. Presented at the *annual meeting of the National Association of Research in Science Teaching*. New Orleans, LA.
- Driver, R., Kokkotas, P. V., Skoula, T., & Asēmakopoulou, V. (1998). *Oiko-domōntas tis ennoies tōn physikōn epistēmōn: mia pagkosmia synopsē tōn ideōn tōn mathētōn*. Athēna: Typōthētō Giōrgos Dardanos.
- Duit, R. (2007). Science Education Research Internationally: Conceptions, Research Methods, Domains of Research. *Eurasia Journal of Mathematics, Science and Technology Education*, 3(1), 3–15.
- Duit, R., Gropengieber, H., Kattmann, U., Komorek, M., & Parchmann, I. (2012). *The Model of Educational Reconstruction – a framework for improving teaching and learning science. Science Education Research and Practice in Europe: Retrospective and Prospective*, 13–37.
- Ebert, D., & Bhushan, B. (2012). Wear-resistant rose petal-effect surfaces with superhydrophobicity and high droplet adhesion using hydrophobic and hydrophilic nanoparticles. *Journal of Colloid and Interface Science*, 384(1), 182–188.
- Ensikat, HJ., Ditsche-Kuru, P., Barthlott, W. (2010). Scanning electron microscopy of plant surfaces: simple but sophisticated methods for preparation and examination. In: Mendez-Vilas A, Diaz J (eds) *Microscopy: science, technology, applications and education*. FORMATEX, 248-255.
- European Commission (2010) Knowledge, attitudes and opinions on Nanotechnology across European Youth available in [http://cordis.europa.eu/nanotechnology/src/publication\\_events.htm](http://cordis.europa.eu/nanotechnology/src/publication_events.htm)
- Filipponi, L., Sutherland, D. (2010). Introduction to Nanoscience and Nanotechnologies. Chapter 1. [https://nanoyou.eu/attachments/188\\_Module-1-chapter-1.pdf](https://nanoyou.eu/attachments/188_Module-1-chapter-1.pdf)

- 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.
- Hartley, J. (2014). Some thoughts on Likert-type scales. *International Journal of Clinical and Health Psychology*, 14(1), 83–86.
- Hochella, M. F. (2002). Nanoscience and technology: the next revolution in the Earth sciences. *Earth and Planetary Science Letters*, 203(2), 593–605.
- Hornyak, G. L. (Ed.). (2009). *Introduction to nanoscience & nanotechnology*. CRC Press.
- 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.
- Kim, W., Kim, D., Park, S., Lee, D., Hyun, H., & Kim, J. (2017). Engineering lotus leaf-inspired micro- and nanostructures for the manipulation of functional engineering platforms. *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*.
- Laherto, A. (2010). An analysis of the educational significance of nanoscience and nanotechnology in scientific and technological literacy. *Science Education International*, 21, 160-175.
- Latthe, S., Terashima, C., Nakata, K., & Fujishima, A. (2014). Superhydrophobic Surfaces Developed by Mimicking Hierarchical Surface Morphology of Lotus Leaf. *Molecules*, 19(4), 4256–4283.
- Law, K.-Y., & Zhao, H. (2016). *Surface Wetting*. Cham: Springer International Publishing.
- Li, S., Huang, J., Chen, Z., Chen, G., & Lai, Y. (2017). A review on special wettability textiles: theoretical models, fabrication technologies and multifunctional applications. *J. Mater. Chem. A*, 5(1), 31–55.
- Μάνου, Λ., Σπύρτου, Α., Χατζηκρανιώτης, Ε., Καριώτογλου, Π. (2015). Βιβλιογραφική επισκόπηση του περιεχομένου της διδασκαλίας της Νανοεπιστήμης και Νανοτεχνολογίας στις τρεις βαθμίδες εκπαίδευσης. Στα Πρακτικά, Δ., Ψύλλος, Α., Μολοχίδης & Μ. Καλλέρη, (Εκδ.), 9ου Πανελληνίου Συνεδρίου Διδακτικής των Φυσικών Επιστημών και Νέων Τεχνολογιών στην Εκπαίδευση - Διδασκαλία και Μάθηση στις Φυσικές Επιστήμες και την Τεχνολογία: Έρευνες, Καινοτομίες και Πρακτικές, 203-211.
- Nosonovsky, M., & Rohatgi, P. K. (2012). *Biomimetics in Materials Science* (Vol. 152). New York, NY: Springer New York.
- Πέικος, Γ., Μάνου, Λ. & Σπύρτου, Α. (2015β). Ανάπτυξη και αξιολόγηση Διδακτικής Μαθησιακής Σειράς για την διδασκαλία της Νανοεπιστήμης – Νανοτεχνολογίας στο δημοτικό σχολείο. Στο Δ. Ψύλλος, Α. Μολοχίδης & Μ. Καλλέρη (Επμ.), Διδασκαλία και Μάθηση στις Φυσικές Επιστήμες και την Τεχνολογία: Έρευνες, Καινοτομίες και Πρακτικές, Πρακτικά του 9ου Πανελληνίου συνεδρίου των Φυσικών Επιστημών και

Νέων Τεχνολογιών στην Εκπαίδευση (σσ. 279-286). Θεσσαλονίκη: Παιδαγωγικό Τμήμα Δημοτικής Εκπαίδευσης, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο.

Πέικος, Γ., (2016). Σχεδιασμός, Ανάπτυξη και Αξιολόγηση Διδακτικής Μαθησιακής Ακολουθίας για τη διδασκαλία περιεχομένου της Νανοεπιστήμης-Νανοτεχνολογίας στο Δημοτικό σχολείο (Μεταπτυχιακή εργασία). Πανεπιστήμιο Δυτικής Μακεδονίας: Φλώρινα.

Ρόγκου, Ε. (2018). Οι ιδέες φοιτητών Παιδαγωγικού Τμήματος Δημοτικής Εκπαίδευσης για έννοιες και φαινόμενα στην κλίμακα του νάνο: η προσκόλληση της σαύρας Gecko και το φαινόμενο του λωτού (Μεταπτυχιακή Εργασία). Πανεπιστήμιο Δυτικής Μακεδονίας: Φλώρινα.

Reiss, M. J., Tunnicliffe, S. D., Andersen, A. M., Bartoszeck, A., Carvalho, G. S., Chen, S.-Y., ... Van Roy, W. (2002). An international study of young peoples' drawings of what is inside themselves. *Journal of Biological Education*, 36(2), 58–64.

Σακελλάρη, Κ. (2019). Το φαινόμενο της σαύρας Γκέκο στην κλίμακα του νάνο: πειραματικό περιβάλλον μικτής πραγματικότητας στο Δημοτικό σχολείο (Μεταπτυχιακή Εργασία). Πανεπιστήμιο Δυτικής Μακεδονίας: Φλώρινα.

Σπύρτου, Α., Μάνου, Λ., Πέικος, Γ., Παπαδοπούλου, Π. (2018). Διερευνώντας τα μυστικά του Νανόκοσμου. Εκδόσεις GUTENBERG.

Sahin, N., & Ekli, E. (2013). Nanotechnology awareness, opinions and risk perceptions among middle school students. *International Journal of Technology and Design Education*, 23(4), 867–881.

Sakhnini, S., & Blonder, R. (2015). Essential Concepts of Nanoscale Science and Technology for High School Students Based on a Delphi Study by the Expert Community. *International Journal of Science Education*, 37(11), 1699–1738.

Schönborn, K. J., Höst, G. E., & Lundin Palmerius, K. E. (2015). Measuring understanding of nanoscience and nanotechnology: development and validation of the nano-knowledge instrument (NanoKI). *Chemistry Education Research and Practice*, 16(2), 346–354.

Schwartz-Bloom, R. D., & Halpin, M. J. (2003). Integrating pharmacology topics in high school biology and chemistry classes improves performance. *Journal of Research in Science Teaching*, 40(9), 922–938.

Sebastian, V., & Gimenez, M. (2016). Teaching Nanoscience and Thinking Nano at the Macroscale: Nanocapsules of Wisdom. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 228, 489–495.

Stafford, C. L., Molinario, M., & Nanozone Leader Team. (2005) *Lessons learned from Nanozone*. <http://nanosense.sri.com/documents/papers/ICLS2006HsiSabelli.pdf> (Προσπελάστηκε 11/07/2019)

- Stavrou, D., Michailidi, E., Sgouros, G., & Dimitriadi, K. (2015). Teaching high-school students nanoscience and nanotechnology. *International Journal on Math, Science and Technology Education, Vol 3 (No 4)*, 501-511.
- Stevens, S., Sutherland, L., & Krajcik, J. S. (2009). *The big ideas of nanoscale science & engineering: a guidebook for secondary teachers*. Arlington, Va: NSTAPress.
- Τασσοπούλου, Σ. (2017). Αξιολόγηση για την εισαγωγή του περιεχομένου της Νανοεπιστήμης – Νανοτεχνολογίας και των Μοντέλων: Μια μελέτη περίπτωσης σε μαθητές Δημοτικού σχολείου. Πανεπιστήμιο Δυτικής Μακεδονίας: Φλώρινα. Μεταπτυχιακή εργασία.
- Taylor, A., Jones, G., & Pearl, T.P. (2008). Bumpy, Sticky, and Shaky: Nanoscale Science and the Curriculum. *Science Scope*, 31(7), 28-35.
- Tirre, F., Kampschulte, L., Thoma, G.-B., Höffler, T., & Parchmann, I. (2018). Design of a student lab program for nanoscience and technology – an intervention study on students' perceptions of the Nature of Science, the Nature of Scientists and the Nature of Scientific Inquiry. *Research in Science & Technological Education*, 1–26.
- Tsai, Y.-C., & Shih, W.-P. (2012). Artificial Petal Effect on Nanofibrillar Parylene™ Surface. *The Journal of Adhesion*, 88(1), 32–54.
- Wang, G., Guo, Z., & Liu, W. (2014). Interfacial effects of superhydrophobic plant surfaces: A review. *Journal of Bionic Engineering*, 11(3), 325–345.
- Webb, H. K., Crawford, R. J., & Ivanova, E. P. (2014). Wettability of natural superhydrophobic surfaces. *Advances in Colloid and Interface Science*, 210, 58–64.
- Χαλκιά, Κ. (2012). Διδάσκοντας Φυσικές Επιστήμες. Αθήνα: Εκδόσεις Πατάκη.



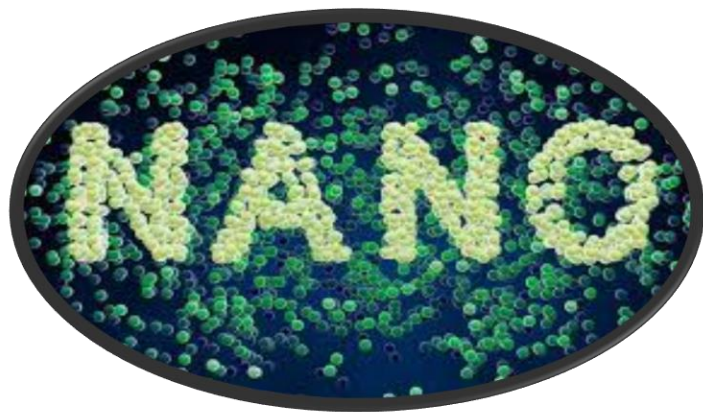
Παράρτημα Ι

# Σημειωματάριο Επιστημονικής Ομάδας για ΦΕ1

Ημερομηνία:.....

Τάξη:..... Σχολείο: .....

Όνοματεπώνυμο:.....



## Φύλλο Εργασίας 1

### Πειραματικές Δραστηριότητες

#### Ερώτημα για διερεύνηση

Ο Κώστας συζητά με την Ελένη για το πως θα παίξουν μπουγέλο την τελευταία μέρα στο σχολείο. Η Ελένη πρότεινε να σκεφτούν έναν τρόπο ώστε να βραχούν το λιγότερο δυνατό. Πως θα μπορούσαν να επιτύχουν αυτό το σκοπό;

#### Γράψτε τις προτάσεις σας!

.....  
.....  
.....  
.....  
.....  
.....

#### Σχεδίαση της έρευνας

Τι πρόκειται να ερευνήσω;

.....  
.....

## Ερευνητική Δραστηριότητα 1

**Υλικά:** Φύλλο ακακίας, φύλλο μαρουλιού, νανο-ξύλο, απλό ξύλο, νανο-ύφασμα, απλό ύφασμα, ποτήρι με νερό, πιπέτες, πλαστικό πιάτο

Παρατήρησε, σχεδίασε και στο τέλος σύγκρινε!

Χρησιμοποιώντας το σταγονόμετρο ρίξτε μερικές σταγόνες νερού πάνω στα φύλλα της ακακίας, του μαρουλιού, στο νάνο-ξύλο, στο απλό ξύλο, στο νάνο-ύφασμα, στο απλό ύφασμα, για να ελέγξετε ποια από τα παραπάνω υλικά δεν βρέχονται; Στη συνέχεια συμπλήρωσε τον πίνακα.

Υλικά	Δεν βρέχονται	Σχεδιάστε το σχήμα της σταγόνας
Φύλλο ακακίας		
Φύλλο μαρουλιού		
Νάνο-ξύλο		
Απλό ξύλο		
Νάνο-ύφασμα		
Απλό ύφασμα		

Ποια υλικά δεν βρέχονται; Τι σχήμα έχουν οι σταγόνες στα υλικά αυτά;

.....

.....

.....

.....

.....

.....

Γιατί νομίζετε ότι στα υλικά που δεν βρέχονται η σταγόνα έχει το ίδιο σχήμα;  
Μπορείτε να σχεδιάσετε την απάντησή σας

.....

.....

.....

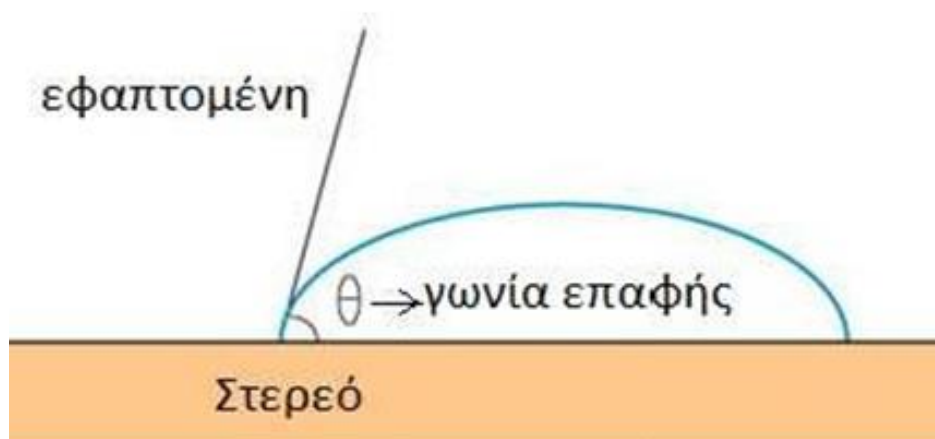
.....

.....

.....

## Ερευνητική Δραστηριότητα 2

Ας μετρήσουμε με δύο τρόπους τη γωνία επαφής σε τρία υπερ-υδρόφοβα υλικά.



### Πρώτη μέτρηση: μοιρογνωμόνιο

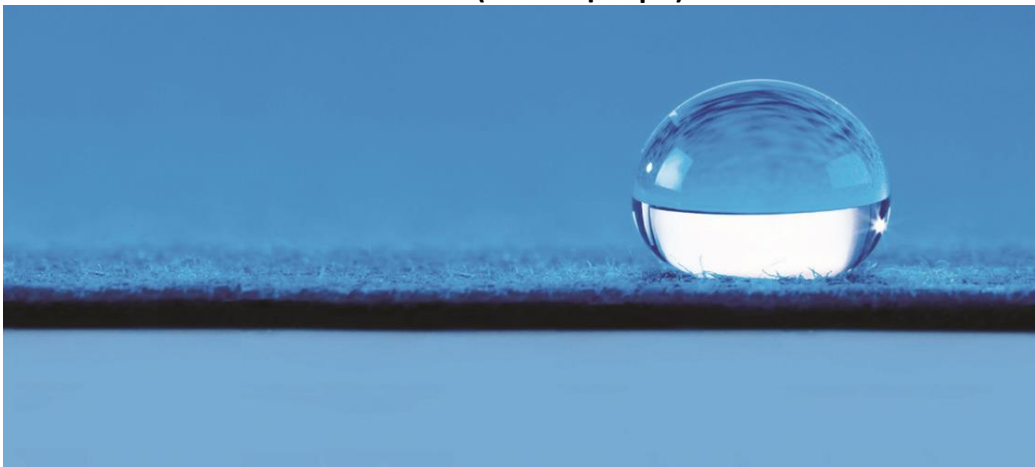
Παρακάτω βλέπετε 2 φωτογραφίες από υπερ-υδρόφοβες επιφάνειες. Με το μοιρογνωμόνιό σας μετρήστε τις γωνίες επαφής και συμπληρώστε τον πίνακα που ακολουθεί.

A/A Επιφάνειας	Είδος Υλικού	Γωνία Επαφής
1		
2		

**Εικόνα 1 (νανο-ξύλο)**



**Εικόνα 2 (νανο-ύφασμα)**



Δεύτερη μέτρηση: με το λογισμικό «OnScreenProtactor»



Μετρούμενη γωνία επαφής: .....

### Ερευνητική Δραστηριότητα 3: Ανάλυση

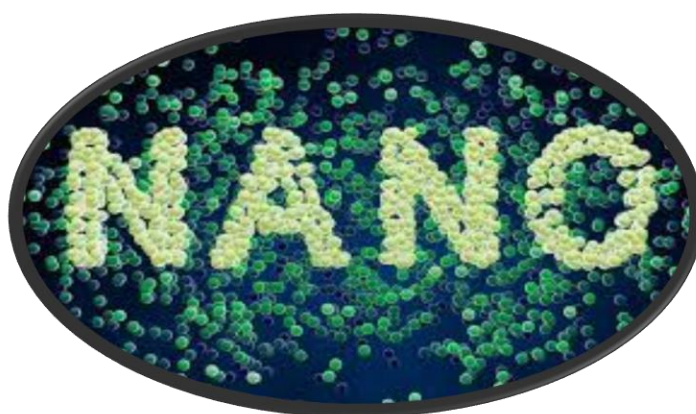
**Μπορούν τα αποτελέσματα των μετρήσεών σας να αναπαρασταθούν με ένα σκίτσο ή πως θα μπορούσατε να αναπαραστήσετε την επιφάνεια ενός υπέρ-υδρόφοβου υλικού όπως είναι ο λωτός;**

# Σημειωματάριο Επιστημονικής Ομάδας για ΦΕ2

Ημερομηνία:.....

Τάξη:..... Σχολείο: .....

Όνοματεπώνυμο:.....





## Φύλλο Εργασίας 2

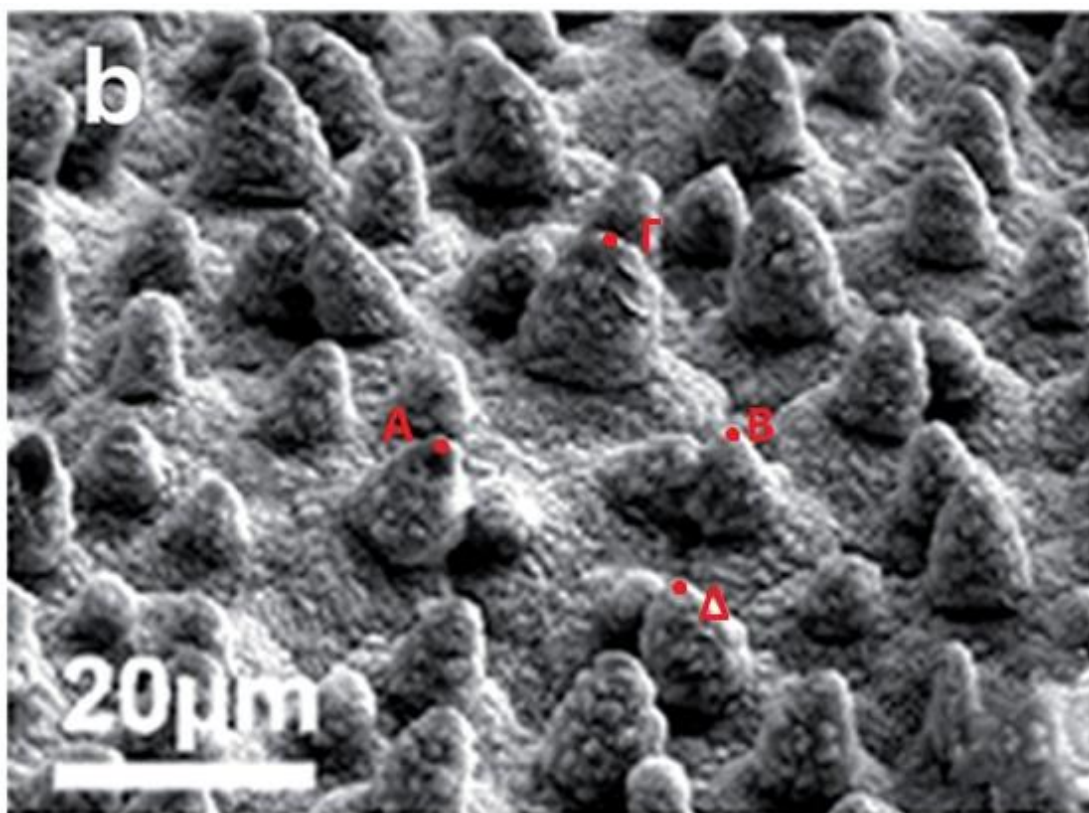
### Πειραματικές Δραστηριότητες

#### Ερώτημα για διερεύνηση

Ο Κώστας συνέχισε να συζητά με την Ελένη για το πως θα βραχούν το λιγότερο δυνατό στο μπουγέλο. Αναρωτήθηκαν γιατί οι σταγόνες του νερού είναι σφαιρικές στα υπερ-υδρόφοβα υλικά. Αποφάσισαν να ανατρέξουν σε πηγές (φωτογραφίες, βίντεο κτλ) που μελετούν την επιφάνεια των υλικών αυτών. Το βασικό τους ερώτημα ήταν πως είναι οι επιφάνειες των υπερ-υδρόφοβων υλικών.

#### Ερευνητική Δραστηριότητα 4: πόσο απέχουν οι μικροπροεξοχές στον υπερ-υδρόφοβο λωτό;

Ας μετρήσουμε την απόσταση μεταξύ των κορυφών στις μικροπροεξοχές στην επιφάνεια του φύλλου του λωτού με το λογισμικό «**onlineruler**».



Εικόνα: Φωτογραφία φύλλου λωτού από ηλεκτρονικό μικροσκόπιο

Συμπληρώστε τον πίνακα που ακολουθεί.

Μικροδομή	Αριθμός pixels	Απόσταση σε $\mu\text{m}$
Απόσταση μικροπροεξοχών AB		
Απόσταση μικροπροεξοχών AG		
Απόσταση μικροπροεξοχών AD		

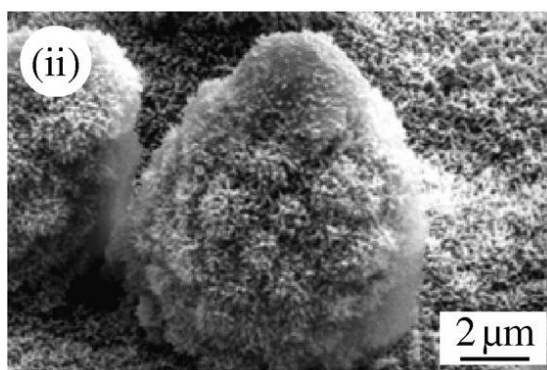
Ας βγάλουμε το μέσο όρο της απόστασης των μικροπροεξοχών:.....

### Ερευνητική Δραστηριότητα 5

**Μπορούμε να αλλάξουμε το αρχικό μας σκίτσο για την επιφάνεια του φύλλου του λωτού με βάση τη μελέτη που κάναμε στην προηγούμενη δραστηριότητα;**

### Δραστηριότητα 6

Ας παρατηρήσουμε στο βίντεο «[zoominalotusleaf](#)» τι συμβαίνει στη νανοδομή της επιφάνειας του φύλλου του λωτού.



**Εικόνα 2:**Μια μικρο-προεξοχή του λωτού με μεγέθυνση 2  $\mu\text{m}$ , οι νανο-προεξοχές φαίνονται πάνω στη μικροδομή

## **Δραστηριότητα 7**

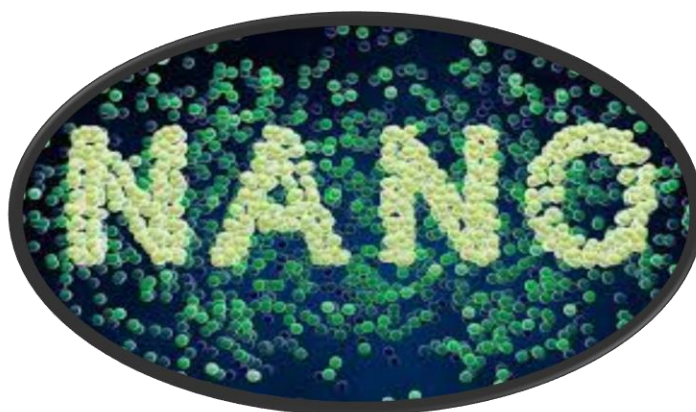
**Ας αλλάξουμε το προηγούμενο μας σκίτσο για την επιφάνεια του φύλλου του λωτού με βάση την εικόνα από το ηλεκτρονικό μικροσκόπιο.**

# Σημειωματάριο Επιστημονικής Ομάδας για ΦΕΞ

Ημερομηνία:.....

Τάξη:..... Σχολείο: .....

Όνοματεπώνυμο:.....



## Ερώτημα για διερεύνηση

Ο Κώστας και η Ελένη τώρα που ανακάλυψαν τα υπερ-υδρόφοβα υλικά, πειραματίζονται με τα αντικείμενα της καθημερινής τους ζωής για να ανακαλύψουν τέτοια υλικά. Σε αυτήν την προσπάθειά τους ανακάλυψαν το τριαντάφυλλο και ένα μυστήριο στη συμπεριφορά της σταγόνας πάνω του. Το βασικό τους ερώτημα εδώ είναι να λύσουν το μυστήριο σχετικά με τη συμπεριφορά της σταγόνας εξετάζοντας την επιφάνειά του.

## Ερευνητική Δραστηριότητα 8

Παρατήρησε, σχεδίασε και στο τέλος σύγκρινε!

Χρησιμοποιώντας το σταγονόμετρο ρίξτε μερικές σταγόνες νερού πάνω στα φύλλα της ακακίας (σαν λωτός) και του τριαντάφυλλου. Στη συνέχεια συμπλήρωσε τον πίνακα.

<b>Υλικά</b>	<b>Σχεδιάστε το σχήμα της σταγόνας</b>	<b>Περιέγραψε τη συμπεριφορά της σταγόνας καθώς κουνάς τα φύλλα</b>
<b>Φύλλο ακακίας</b>		
<b>Φύλλο τριαντάφυλλου</b>		

## Δραστηριότητα 9

Στις εικόνες που ακολουθούν βλέπετε τις σταγόνες νερού πάνω στα φύλλα του λωτού και του τριαντάφυλλου. Ας μετρήσουμε τις γωνίες επαφής για κάθε φύλλο με το μοιρογνωμόνιο!

*Είναι τα δυο αυτά φύλλα υπέρ-υδρόφοβα;*



Μετρούμενη γωνία επαφής στο λωτό:.....

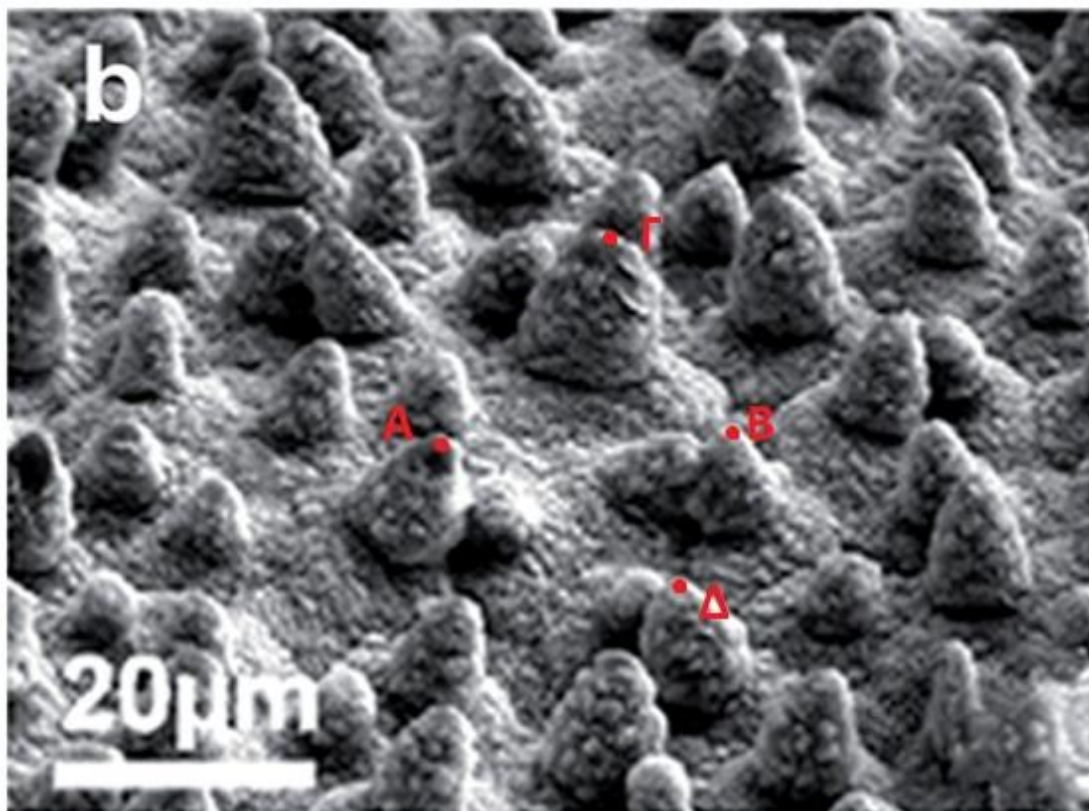


Μετρούμενη γωνία επαφής στο τριαντάφυλλο:.....

## Δραστηριότητα 10

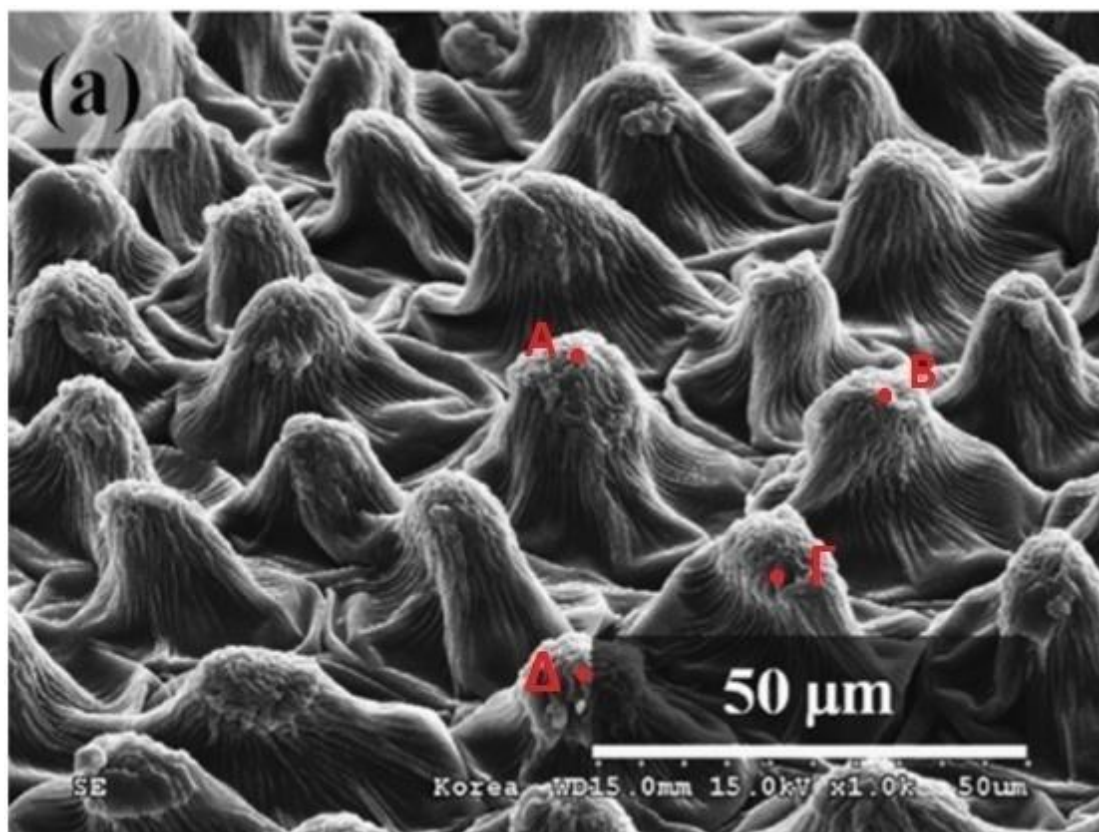
Με τη βοήθεια του λογισμικού «**OnlineRuler**» και αφού θυμηθείτε τις μετρήσεις που κάνατε για την απόσταση των μικροπροεξοχών στο φύλλο του λωτού, κάντε τις αντίστοιχες μετρήσεις και για το τριαντάφυλλο και βρείτε την απόσταση των μικροπροεξοχών του.

**Εικόνα 1:** Επιφάνεια φύλλου λωτού από ηλεκτρονικό μικροσκόπιο



Απόσταση μικροπροεξοχών στο φύλλο του λωτού (μέσος όρος):.....

**Εικόνα 2:** Επιφάνεια φύλλου τριαντάφυλλου από ηλεκτρονικό μικροσκόπιο



Συμπληρώστε τον πίνακα που ακολουθεί.

Μικροδομή	Αριθμός pixels	Απόσταση σε μm
Απόσταση μικροπροεξοχών ΑΒ		
Απόσταση μικροπροεξοχών ΑΓ		
Απόσταση μικροπροεξοχών ΑΔ		

Ας βγάλουμε το μέσο όρο της απόστασης των μικροπροεξοχών:.....



## **Δραστηριότητα 11**

**Σχεδιάστε από ένα σκίτσο ώστε να αναπαραστήσετε την επιφάνεια των δύο φύλλων (λωτός και τριαντάφυλλο).**

**Σχεδιάστε και τη σταγόνα πάνω στα δύο σκίτσα που φτιάξατε.**

**Συζητήστε με την ομάδα σας αυτά που σχεδιάσατε και προσπαθήστε να απαντήσετε στο ερώτημα: «Ποιος είναι ο λόγος που η σταγόνα στην μία περίπτωση κυλάει ενώ στην άλλη μένει καρφωμένη;»**

## Παράρτημα II

### ΕΡΓΑΛΕΙΟ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗΣ ΑΠΟ ΕΡΕΥΝΗΤΡΙΑ ΑΝΑ ΔΙΩΡΟ

Το θετικό πρόσημο(+) δίνεται στις δραστηριότητες για τις οποίες και ο χρόνος ήταν επαρκής για την εφαρμογή τους και οι μαθητές δεν είχαν πρόβλημα με τον χειρισμό των υλικών και την εκτέλεση των δραστηριοτήτων. Αρνητικό πρόσημο (-)δίνεται στις δραστηριότητες για τις οποίες έστω και μια από τις δυο αυτές προϋποθέσεις δεν ικανοποιείται.

#### 1<sup>ο</sup> Δίωρο

Δραστηριότητες	Πρόσημο	Παρατηρήσεις
<b>Ερώτημα για διερεύνηση</b> Ο Κώστας και η Ελένη συζητούν για το μπουγέλο και για το πως δεν θα βραχούν, οι μαθητές προτείνουν ιδέες		
<b>Ερευνητική Δραστηριότητα 1</b> Οι μαθητές ρίχνουν νερό πάνω σε διάφορα υλικά και ελέγχουν ποια από αυτά δεν βρέχονται		
<b>Ερευνητική Δραστηριότητα 2α</b> Οι μαθητές μετράνε τη γωνία επαφής. Πρώτη μέτρηση: Μοιρογνωμόνιο		
<b>Ερευνητική Δραστηριότητα 2β</b> Οι μαθητές μετράνε τη γωνία επαφής. Δεύτερη μέτρηση: λογισμικό «OnScreenProtactor»		
<b>Ερευνητική Δραστηριότητα 3</b> Οι μαθητές σχεδιάζουν την επιφάνεια ενός υπερ-υδρόφοβου υλικού όπως είναι ο λωτός		

## ΓΡΑΨΕ ΤΗΝ ΑΠΟΨΗ ΣΟΥ

Παρακάτω φαίνονται όλες οι δραστηριότητες που εφαρμόσαμε στην πρώτη μας συνάντηση. Θα θέλαμε την άποψή σου, για τις δραστηριότητες αυτές.

**Α. Χρησιμοποιώντας την παρακάτω κλίμακα, σημείωσε σε ποιο βαθμό ισχύει για σένα η καθεμιά δραστηριότητα:**

Δεν μπόρεσα να το χειριστώ καθόλου 	Είχα αρκετές δυσκολίες να το χειριστώ 	Αν και είχα δυσκολίες να το χειριστώ κάτι έκανα 	Το χειρίστηκα άνετα 	Ήταν πολύ εύκολο για μένα να το χειριστώ 
1	2	3	4	5

**Δραστηριότητες που υλοποιήσαμε κατά τη διάρκεια της 1<sup>ης</sup> συνάντησης:**

1	<b>Ερώτημα για διερεύνηση</b> Ο Κώστας και η Ελένη αναρωτιούνται για το πώς δεν θα βραχούν στο μπουγέλο. Προτείνουμε λύσεις για το ερώτημά τους.	1	2	3	4	5
2	<b>Ερευνητική Δραστηριότητα 1</b> Ρίχναμε νερό πάνω σε διάφορα υλικά για να εξετάσουμε ποια από αυτά βρέχονται και ποια δεν βρέχονται.	1	2	3	4	5
3	<b>Ερευνητική Δραστηριότητα 2α</b> Μετρήσαμε τη γωνία επαφής με μοιρογνωμόνιο.	1	2	3	4	5
4	<b>Ερευνητική Δραστηριότητα 2β</b> Μετρήσαμε τη γωνία επαφής με λογισμικό «OnScreenProtactor».	1	2	3	4	5
5	<b>Ερευνητική Δραστηριότητα 3</b> Σχεδιάσαμε την επιφάνεια ενός υπερ-υδρόφοβου υλικού όπως είναι ο λωτός.	1	2	3	4	5

**Β. Χρησιμοποιώντας την παρακάτω κλίμακα, σημείωσε σε ποιο βαθμό ισχύει για σένα η καθεμιά δραστηριότητα:**

Έταν πολύ βαρετή	Έταν λίγο βαρετή	Έταν λίγο ενδιαφέρουσα	Αρκετά ενδιαφέρουσα	Έταν πολύ ενδιαφέρουσα
				
1	2	3	4	5

**Δραστηριότητες που υλοποιήσαμε κατά τη διάρκεια της 1<sup>ης</sup> συνάντησης:**

1	<b>Ερώτημα για διερεύνηση</b> Ο Κώστας και η Ελένη αναρωτιούνται για το πώς δεν θα βραχούν στο μπουγέλο. Προτείνουμε λύσεις για το ερώτημά τους.	1	2	3	4	5
2	<b>Ερευνητική Δραστηριότητα 1</b> Ρίχναμε νερό πάνω σε διάφορα υλικά για να εξετάσουμε ποια από αυτά βρέχονται και ποια δεν βρέχονται.	1	2	3	4	5
3	<b>Ερευνητική Δραστηριότητα 2α</b> Μετρήσαμε τη γωνία επαφής με μοιρογνωμόνιο.	1	2	3	4	5
4	<b>Ερευνητική Δραστηριότητα 2β</b> Μετρήσαμε τη γωνία επαφής με λογισμικό «OnScreenProtactor».	1	2	3	4	5
5	<b>Ερευνητική Δραστηριότητα 3</b> Σχεδιάσαμε την επιφάνεια ενός υπερ-υδρόφοβου υλικού όπως είναι ο λωτός.	1	2	3	4	5

## ΕΡΓΑΛΕΙΟ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗΣ ΑΠΟ ΕΡΕΥΝΗΤΡΙΑ ΑΝΑ ΔΙΩΡΟ

Το θετικό πρόσημο (+) δίνεται στις δραστηριότητες για τις οποίες και ο χρόνος ήταν επαρκής για την εφαρμογή τους και οι μαθητές δεν είχαν πρόβλημα με τον χειρισμό των υλικών και την εκτέλεση των δραστηριοτήτων. Αρνητικό πρόσημο (-) δίνεται στις δραστηριότητες για τις οποίες έστω και μια από τις δυο αυτές προϋποθέσεις δεν ικανοποιείται.






### 2<sup>ο</sup> Δίωρο

Δραστηριότητες	Πρόσημο	Παρατηρήσεις
<b>Ερευνητική Δραστηριότητα 4</b> Οι μαθητές υπολογίζουν πόσο απέχουν οι μικροπροεξοχές στον υπερ-υδρόφοβο λωτό με το λογισμικό «onlineruler»		
<b>Ερευνητική Δραστηριότητα 5</b> Οι μαθητές αλλάζουν το αρχικό σκίτσο που έφτιαξαν για την επιφάνεια του φύλλου του λωτού		
<b>Ερευνητική Δραστηριότητα 6</b> Οι μαθητές παρακολουθούν το βίντεο «zoominalotusleaf» και το πείραμα με τη σύριγγα και συζητάνε για τη νανοδομή πάνω στην επιφάνεια του φύλλου		
<b>Ερευνητική Δραστηριότητα 7</b> Οι μαθητές αλλάζουν το προηγούμενο σκίτσο που έφτιαξαν για την επιφάνεια του φύλλου του λωτού		

## ΓΡΑΨΕ ΤΗΝ ΑΠΟΨΗ ΣΟΥ

Παρακάτω φαίνονται όλες οι δραστηριότητες που εφαρμόσαμε στην πρώτη μας συνάντηση. Θα θέλαμε την άποψή σου, για τις δραστηριότητες αυτές.

**Α. Χρησιμοποιώντας την παρακάτω κλίμακα, σημείωσε σε ποιο βαθμό ισχύει για σένα η καθεμιά δραστηριότητα:**

Δεν μπόρεσα να το χειριστώ καθόλου 	Είχα αρκετές δυσκολίες να το χειριστώ 	Αν και είχα δυσκολίες να το χειριστώ κάτι έκανα 	Το χειρίστηκα άνετα 	Ήταν πολύ εύκολο για μένα να το χειριστώ 
1	2	3	4	5

**Δραστηριότητες που υλοποιήσαμε κατά τη διάρκεια της 2<sup>ης</sup> συνάντησης:**

1	<b>Ερευνητική Δραστηριότητα 4</b> Υπολογίσαμε πόσο απέχουν οι μικροπροεξοχές στον υπερ-υδροφόβο λωτό με το λογισμικό «onlineruler»	1	2	3	4	5
2	<b>Ερευνητική Δραστηριότητα 5</b> Αλλάξαμε το αρχικό σκίτσο που είχαμε φτιάξει για την επιφάνεια του φύλλου του λωτού	1	2	3	4	5
3	<b>Ερευνητική Δραστηριότητα 6</b> Παρακολουθήσαμε το βίντεο «zoominalotusleaf» και το πείραμα με τη σύριγγα και συζητήσαμε για τη νανοδομή πάνω στην επιφάνεια του φύλλου	1	2	3	4	5
4	<b>Ερευνητική Δραστηριότητα 7</b> Αλλάξαμε το προηγούμενο σκίτσο που είχαμε φτιάξει για την επιφάνεια του φύλλου του λωτού	1	2	3	4	5

**Β. Χρησιμοποιώντας την παρακάτω κλίμακα, σημείωσε σε ποιο βαθμό ισχύει για σένα η καθεμιά δραστηριότητα:**

Ήταν πολύ βαρετή	Ήταν λίγο βαρετή	Ήταν λίγο ενδιαφέρουσα	Αρκετά ενδιαφέρουσα	Ήταν πολύ ενδιαφέρουσα
				
1	2	3	4	5

**Δραστηριότητες που υλοποιήσαμε κατά τη διάρκεια της 2<sup>ης</sup> συνάντησης:**

	<b>Ερευνητική Δραστηριότητα 4</b>					
1	Υπολογίσαμε πόσο απέχουν οι μικροπροεξοχές στον υπερ-υδρόφοβο λωτό με το λογισμικό «onlineruler»	1	2	3	4	5
	<b>Ερευνητική Δραστηριότητα 5</b>					
2	Αλλάξαμε το αρχικό σκίτσο που είχαμε φτιάξει για την επιφάνεια του φύλλου του λωτού	1	2	3	4	5
	<b>Ερευνητική Δραστηριότητα 6</b>					
3	Παρακολουθήσαμε το βίντεο «zoominalotusleaf» και το πείραμα με τη σύριγγα και συζητήσαμε για τη νανοδομή πάνω στην επιφάνεια του φύλλου	1	2	3	4	5
	<b>Ερευνητική Δραστηριότητα 7</b>					
4	Αλλάξαμε το προηγούμενο σκίτσο που είχαμε φτιάξει για την επιφάνεια του φύλλου του λωτού	1	2	3	4	5

## ΕΡΓΑΛΕΙΟ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗΣ ΑΠΟ ΕΡΕΥΝΗΤΡΙΑ ΑΝΑ ΔΙΩΡΟ

Το θετικό πρόσημο (+) δίνεται στις δραστηριότητες για τις οποίες και ο χρόνος ήταν επαρκής για την εφαρμογή τους και οι μαθητές δεν είχαν πρόβλημα με τον χειρισμό των υλικών και την εκτέλεση των δραστηριοτήτων. Αρνητικό πρόσημο (-) δίνεται στις δραστηριότητες για τις οποίες έστω και μια από τις δυο αυτές προϋποθέσεις δεν ικανοποιείται.

### 3<sup>ο</sup> Δίωρο



Δραστηριότητες	Πρόσημο	Παρατηρήσεις
<b>Ερευνητική Δραστηριότητα 8</b> Οι μαθητές ρίχνουν νερό πάνω στα υπερυδρόφοβα φυτά (ακακία και τριαντάφυλλο) και παρατηρούν το σχήμα και τη συμπεριφορά της σταγόνας καθώς κουνάνε τα φύλλα.		
<b>Ερευνητική Δραστηριότητα 9</b> Οι μαθητές μετράνε τη γωνία επαφής στο λωτό και στο τριαντάφυλλο		
<b>Ερευνητική Δραστηριότητα 10</b> Οι μαθητές υπολογίζουν πόσο απέχουν οι μικροπροεξοχές στο τριαντάφυλλο με το λογισμικό «onlineruler»		
<b>Ερευνητική Δραστηριότητα 11</b> Οι μαθητές σχεδιάζουν την επιφάνεια των φύλλων του λωτού και του τριαντάφυλλου, καθώς και τη σταγόνα. Συγκρίνουν.		



## ΓΡΑΨΕ ΤΗΝ ΑΠΟΨΗ ΣΟΥ

Παρακάτω φαίνονται όλες οι δραστηριότητες που εφαρμόσαμε στην πρώτη μας συνάντηση. Θα θέλαμε την άποψή σου, για τις δραστηριότητες αυτές.




**A. Χρησιμοποιώντας την παρακάτω κλίμακα, σημείωσε σε ποιο βαθμό ισχύει για σένα η καθεμιά δραστηριότητα:**

Δεν μπόρεσα να το χειριστώ καθόλου 	Είχα αρκετές δυσκολίες να το χειριστώ 	Αν και είχα δυσκολίες να το χειριστώ κάτι έκανα 	Το χειρίστηκα άνετα 	Ήταν πολύ εύκολο για μένα να το χειριστώ 
1	2	3	4	5

**Δραστηριότητες που υλοποιήσαμε κατά τη διάρκεια της 3<sup>ης</sup> συνάντησης:**

1	<b>Ερευνητική Δραστηριότητα 8</b> Ρίχνουμε νερό πάνω στα υπερ-υδρόφοβα φυτά (ακακία και τριαντάφυλλο) και παρατηρούμε το σχήμα και τη συμπεριφορά της σταγόνας καθώς κουνάμε τα φύλλα	1	2	3	4	5
2	<b>Ερευνητική Δραστηριότητα 9</b> Μετράμε τη γωνία επαφής στο λωτό και στο τριαντάφυλλο	1	2	3	4	5
3	<b>Ερευνητική Δραστηριότητα 10</b> Υπολογίζουμε πόσο απέχουν οι μικροπροεξοχές στο τριαντάφυλλο με το λογισμικό «onlineruler»	1	2	3	4	5
4	<b>Ερευνητική Δραστηριότητα 11</b> Σχεδιάζουμε την επιφάνεια των φύλλων του λωτού και του τριαντάφυλλου, καθώς και τη σταγόνα. Συγκρίνουμε	1	2	3	4	5

**Β. Χρησιμοποιώντας την παρακάτω κλίμακα, σημείωσε σε ποιο βαθμό ισχύει για σένα η καθεμιά δραστηριότητα:**

Έταν πολύ βαρετή	Έταν λίγο βαρετή	Έταν λίγο ενδιαφέρουσα	Αρκετά ενδιαφέρουσα	Έταν πολύ ενδιαφέρουσα
				
1	2	3	4	5

**Δραστηριότητες που υλοποιήσαμε κατά τη διάρκεια της 3<sup>ης</sup> συνάντησης:**

1	<b>Ερευνητική Δραστηριότητα 8</b> Ρίχνουμε νερό πάνω στα υπερ-υδρόφοβα φυτά (ακακία και τριαντάφυλλο) και παρατηρούμε το σχήμα και τη συμπεριφορά της σταγόνας καθώς κουνάμε τα φύλλα	1	2	3	4	5
2	<b>Ερευνητική Δραστηριότητα 9</b> Μετράμε τη γωνία επαφής στο λωτό και στο τριαντάφυλλο	1	2	3	4	5
3	<b>Ερευνητική Δραστηριότητα 10</b> Υπολογίζουμε πόσο απέχουν οι μικροπροεξοχές στο τριαντάφυλλο με το λογισμικό «onlineruler»	1	2	3	4	5
4	<b>Ερευνητική Δραστηριότητα 11</b> Σχεδιάζουμε την επιφάνεια των φύλλων του λωτού και του τριαντάφυλλου, καθώς και τη σταγόνα. Συγκρίνουμε	1	2	3	4	5