



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΜΑΚΕΔΟΝΙΑΣ

ΠΑΙΔΑΓΩΓΙΚΗ ΣΧΟΛΗ ΦΛΩΡΙΝΑΣ

ΠΑΙΔΑΓΩΓΙΚΟ ΤΜΗΜΑ ΔΗΜΟΤΙΚΗΣ ΕΚΠΑΙΔΕΥΣΗΣ

**«ΔΙΔΑΚΤΙΚΕΣ ΔΡΑΣΤΗΡΙΟΤΗΤΕΣ ΣΕ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ ΜΗ
ΤΥΠΙΚΗΣ
ΕΚΠΑΙΔΕΥΣΗΣ ΓΙΑ ΤΟ ΦΑΙΝΟΜΕΝΟ ΤΟΥ ΛΩΤΟΥ ΚΑΙ
ΤΗΣ ΣΑΥΡΑΣ ΓΕΚΚΟ: ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΚΑΙ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ
ΣΕ ΜΑΘΗΤΕΣ ΚΑΙ ΜΑΘΗΤΡΙΕΣ ΤΗΣ
ΔΕΥΤΕΡΟΒΑΘΜΙΑΣ ΕΚΠΑΙΔΕΥΣΗΣ»**

**ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ
ΤΗΣ ΠΕΤΤΑ ΗΛΕΚΤΡΑΣ-ΔΙΟΝΥΣΙΑΣ
ΑΜ:4605**

Φλώρινα, Ιούνιος 2022

Περιεχόμενα

Περίληψη	4
Abstract.....	5
ΚΕΦ.1: Θεωρητικό πλαίσιο	7
1.1: Ορισμός και εκπαιδευτική αξία της N-ET	7
1.2: Βιομίμηση	9
1.3: Μέγεθος και κλίμακα	10
1.3.1: Για την προσέγγιση και την οριοθέτηση της νανοκλίμακας	10
1.3.2: Για τα όργανα παρατήρησης	11
1.4: Το φαινόμενο της σαύρας γκέκο	13
1.5: Το φαινόμενο του λωτού.....	18
1.6: Σύνδεση περιεχομένου N-ET με ΑΠΣ-ΔΕΠΠΣ Δευτεροβάθμιας Εκπαίδευσης	24
1.7: Οι ιδέες των μαθητών/μαθητριών	25
1.8: Επισημάνσεις	27
ΚΕΦ.2: Μεθοδολογία.....	28
2.1: Σκοπός.....	28
2.2: Ερευνητικά ερωτήματα	28
2.3: Το δείγμα	28
2.4: Εργαλεία	29
2.4.1: Το ερωτηματολόγιο	29
2.4.2: Μέθοδος ανάλυσης δεδομένων.....	29
2.5: Στάδια της εργασίας	31
2.6: Εγκυρότητα και αξιοπιστία.....	32
2.7: Σχεδιασμός διδακτικής παρέμβασης	33
2.7.1: Κοινωνικό εκπαιδευτικό πλαίσιο.....	34
2.7.2: Διαθέσιμο υλικό και επισημάνσεις βιβλιογραφίας	35
2.7.3: Μαθησιακό προφίλ των μαθητριών και μαθητών.....	35
ΚΕΦ.3: Εφαρμογή Διδασκαλιών	39
3.1: Εφαρμογή 1 ^{ου} μέρους: Εισαγωγή στη νανοκλίμακα	39
3.1.1: Μέγεθος και κλίμακα.....	40
3.1.2: Γνωριμία με τα μικροσκόπια	42
3.1.3: Οι τέσσερις κόσμοι, τα όργανα παρατήρησής τους και η οριοθέτηση της νανοκλίμακας.....	44
3.2: Εφαρμογή 2 ^{ου} μέρους: Το φαινόμενο της σαύρας γκέκο	47

3.2.1: Γνωριμία με το φαινόμενο της σαύρας γκέκο	48
3.2.2: Οι δυνάμεις van der Waals και η ιεραρχική δομή	49
3.3: Εφαρμογή 3 ^{ου} μέρους: Το φαινόμενο του λωτού	56
3.3.1: Για την υδροφοβικότητα	57
3.3.2: Για τον αυτοκαθαρισμό	58
3.3.3: Για τη δομή στο φύλλο του λωτού	59
3.3.4: Αυτοκαθαρισμός και προσκόλληση	62
3.3.5: Βιομίμηση-Νανοϋλικά	64
3.4: Ανακεφαλαίωση	66
ΚΕΦ.4: Αποτελέσματα Εφαρμογής	67
4.1: Γενικά	67
4.2: Η παρουσίαση των αποτελεσμάτων	67
4.2.1: Πώς νοηματοδοτούν τον όρο «Νανοτεχνολογία» οι μαθήτριες και οι μαθητές	67
4.2.2: Αποτελέσματα για την κατανόηση του μεγέθους και της κλίμακας	68
4.2.3: Αποτελέσματα για το φαινόμενο της σαύρας γκέκο	69
4.2.4: Αποτελέσματα για το φαινόμενο του λωτού	70
4.2.5: Αποτελέσματα κατανόησης για τα νανοϋλικά και τη χρήση τους	72
ΚΕΦ.5: Συζήτηση και Συμπεράσματα	73
5.1: Γενικά	73
5.2: Συζήτηση	73
5.2.1: Για τη νοηματοδότηση του όρου «Νανοεπιστήμη/Νανοτεχνολογία»	73
5.2.2: Για την κατανόηση του μεγέθους και της κλίμακας	74
5.2.3: Για το φαινόμενο της σαύρας γκέκο	77
5.2.4: Για το φαινόμενο του λωτού	82
5.2.5: Για τα νανοϋλικά και τη χρήση τους	86
5.2.6: Για τις αρχικές ιδέες των μαθητριών και των μαθητών	87
5.3: Συμπεράσματα και προτάσεις	87
Βιβλιογραφία	90
Παράρτημα	92

Περίληψη

Η Νανοεπιστήμη- Νανοτεχνολογία (N-ET), αποτελεί έναν σύγχρονο ταχύτατα αναπτυσσόμενο κλάδο με εφαρμογές ήδη σε πάρα πολλά πεδία της ανθρώπινης δραστηριότητας. Αφορά τη μελέτη της συμπεριφοράς και το χειρισμό της ύλης στην περιοχή από 1 έως 100 νανόμετρα με στόχο να κατανοήσει και να παράγει τεχνητά ιδιότητες υλικών και φαινόμενα που παρατηρούνται στη φύση. Δύο τέτοια φαινόμενα είναι ο αυτοκαθαρισμός και η στεγανότητα των φύλλων πολλών υδρόφοβων φυτών(το φαινόμενο του λωτού) και η ασφαλής αναρρίχηση ζώων σε πολλές διαφορετικές επιφάνειες(το φαινόμενο της σαύρας γκέκο) με ευρύτατες εφαρμογές. Το τεράστιο επιστημονικό, τεχνολογικό, κοινωνικό και οικονομικό ενδιαφέρον αυτής της εξέλιξης επέβαλε την ανάγκη για το νανογραμματισμό των πολιτών του 21^{ου} αιώνα. Η επιστημονική κοινότητα στο χώρο της Διδακτικής των Φ.Ε. διεθνώς έχει ήδη παράξει και συνεχίζει να ερευνά και να παράγει εκπαιδευτικό υλικό για την ένταξη περιεχομένου και δραστηριοτήτων για τη NET σε όλες τις βαθμίδες της εκπαίδευσης. Η εδώ εργασία έχει σκοπό να συμβάλλει στον εμπλουτισμό της εκπαιδευτικής έρευνας σε αυτή την κατεύθυνση. Γι' αυτό σχεδιάστηκε, εφαρμόστηκε και αξιολογήθηκε σειρά μαθημάτων διάρκειας επτά διδακτικών ωρών σχετικά με α)βασικές εισαγωγικές έννοιες της N-ET που αφορούν κυρίως στο μέγεθος και την κλίμακα β)το φαινόμενο της σαύρας γκέκο γ)το φαινόμενο του λωτού και εφαρμογές τους. Η σειρά μαθημάτων εφαρμόστηκε σε δείγμα 13 μαθητριών και μαθητών Α' Λυκείου επαρχιακού σχολείου στην Πιερία. Αξιολογήθηκε ως προς τη μετατόπιση της γνωστικής κατάστασης των μαθητριών και των μαθητών από τις αρχικές τους απόψεις προς τις επιστημονικές θέσεις με ερωτηματολόγιο αρχικής(pre) και τελικής(post) μέτρησης. Κάποια αποτελέσματα των μετρήσεων φαίνεται να συγκλίνουν στα μέχρι τώρα περιορισμένα ευρήματα και για τις τρεις βαθμίδες της εκπαίδευσης στην Ελλάδα με δεδομένο ότι είναι πολύ λιγότερες οι έρευνες για τη Δευτεροβάθμια Εκπαίδευση. Δυστυχώς, η αλλαγή του πλαισίου εφαρμογής των μαθημάτων σε συνθήκες τηλεεκπαίδευσης και όχι σε δια ζώσης διδασκαλίες λόγω του COVID-19, δεν επέτρεψαν την ολοκλήρωση των μαθημάτων στο πλαίσιο για το οποίο είχαν αρχικά σχεδιαστεί, και αυτό ενδεχομένως να επηρεάζει την τελική τους αξιολόγηση.

Λέξεις-κλειδιά

Νανοεπιστήμη- Νανοτεχνολογία (N-ET), Υπερυδροφοβικότητα, Προσκόλληση, Βιομιμητισμός, Φαινόμενο του Λωτού, Φαινόμενο της σαύρας Gecko

Abstract

Nanoscience-Nanotechnology (N-ET) is a modern rapidly developing branch with applications already in many fields of human activity. It concerns the study of the behavior and manipulation of matter in the range from 1 to 100 nanometers in order to understand and artificially generate material properties and phenomena observed in nature. Two such phenomena are the self-cleaning and impermeability of the leaves of many hydrophobic plants (the lotus phenomenon) and the safe climbing of animals on many different surfaces (the gecko lizard phenomenon) with very wide applications. The enormous scientific, technological, social and economic interest of this development has imposed the need for basic nano-education of the public in the 21st century. Educational material – including content and activities – that aims to the inclusion of NET at all levels of education has already produced and being under research from the field of Teaching of physical sciences internationally. The purpose of this work is to contribute to the enrichment of educational research in this direction. A course of seven teaching hours was designed, implemented and evaluated on a) basic introductory concepts of N-ET that mainly concern size and scale b) the gecko lizard phenomenon c) the lotus phenomenon, and their applications. The course was taken from a sample of 13 high school students of a school in Pieria (Greece). The evaluation of the course was addressed through questionnaires before(pre) and after(post) the course, reflecting the shift of the students' cognitive status. Some results seem to converge on the so far limited findings for all three levels of education in Greece, given that there are much less researches on Secondary Education. Unfortunately, the overturning of context cause to COVID-19 from in real-life teaching to e-learning conditions may raise some concerns, since the course was not designed for e-learning.

Key words

Nanoscience- Nanotechnology, Superhydrophobicity, Adhesion, Biomimicry, Lotus effect, Gecko effect

ΚΕΦ.1: Θεωρητικό πλαίσιο

1.1: Ορισμός και εκπαιδευτική αξία της N-ET

Σχετικά με τον όρο Νανοεπιστήμη-Νανοτεχνολογία(στο εξής N-ET) το πρόθεμα νάνο από την ετυμολογία της λέξης σχετίζεται με κάτι πολύ μικρό. Όταν μιλάμε για διαστάσεις αντικειμένων το ένα νανόμετρο (nm) είναι ίσο με το ένα δισεκατομμυριοστό του μέτρου. Περίπου 80.000 φορές μικρότερο από τη μέση διάμετρο μιας ανθρώπινης τρίχας. Η NET σχετίζεται με δομές της ύλης που τουλάχιστον η μία τους διάσταση κυμαίνεται από 1 έως 100 νανόμετρα. Όπως παραθέτει η Σακελλάρη (2019) η νανοτεχνολογία εξ ορισμού ασχολείται με την κατασκευή δομών τόσο σε ατομικό όσο και σε μοριακό επίπεδο, με μια διάσταση να μετριέται σε νανόμετρα. Οι ιδιότητες της ύλης στη νανοκλίμακα είναι διαφορετικές από αυτές σε μεγαλύτερη κλίμακα. Όταν το μέγεθος πέσει κάτω από τα 100nm συμβαίνουν δραματικές αλλαγές στις ιδιότητες. Η ανακάλυψη νέων υλικών και ιδιοτήτων στην νανοκλίμακα και η εκμετάλλευσή τους προσφέρει νέες ευκαιρίες για την ανάπτυξη καινοτόμων νανοσυστημάτων και νανοϋλικών (Bhushan, 2016, Jonesetal., 2013, Roco, Williams, &Alivisatos, 1999). Επίσης παραθέτει ότι σύμφωνα με τους Kumar&Kumbhat (2016): «Η Νανοτεχνολογία είναι η κατασκευή και χρήση λειτουργικών δομών, σχεδιασμένων σε ατομική και μοριακή κλίμακα, με μια τουλάχιστον χαρακτηριστική διάστασή τους να είναι μετρήσιμη σε νανόμετρα. Το μέγεθός τους επιτρέπει να εμφανίζουν καινοτομικές και σημαντικά βελτιωμένες φυσικές, χημικές και βιολογικές ιδιότητες, φαινόμενα και διαδικασίες. Έτσι η Νανοτεχνολογία μπορεί να οριστεί ως η έρευνα και η ανάπτυξη που περιλαμβάνει τη μέτρηση και τον χειρισμό της ύλης σε ατομικά, μοριακά και υπερμοριακά επίπεδα κλιμάκων που έχουν μέγεθος περίπου 1-100nm σε μια τουλάχιστον διάστασή τους». Στις μέρες μας η νανοεπιστήμη - νανοτεχνολογία έχει καθιερωθεί ως ο νέος διεπιστημονικός κλάδος που αφορά ένα ευρύ φάσμα ερευνών και εφαρμογών που συνδέονται με τη Φυσική, τη Βιολογία, τη Χημεία, την Επιστήμη Υλικών. Πέρα από τις βιβλιογραφικές αναφορές η πληθώρα εφαρμογών¹ από μόνη της τεκμηριώνει αυτή την ευρύτητα. Ενδεικτικά αναφέρουμε εφαρμογές στον τομέα των ηλεκτρονικών, ιατρικές εφαρμογές, ενεργειακές εφαρμογές, εφαρμογές περιβαλλοντικής αποκατάστασης κ. ά. Μέσω τέτοιων εφαρμογών η Νανοτεχνολογία

¹ <https://www.nano.gov/you/nanotechnology-benefits>

υπόσχεται να επιλύσει παγκόσμιες διαχρονικές προκλήσεις που αφορούν τη διάγνωση και τη θεραπεία ασθενειών, το περιβάλλον, την ενέργεια, το διάστημα και άλλα. (Σπύρτου & συνεργάτες, 2018). Τα επόμενα χρόνια περιμένουμε να υπάρξει ανάγκη για επιστημονικό και εργατικό δυναμικό σε τομείς της Ν-ΕΤ. (Σπύρτου & συνεργάτες, 2018). Από τα παραπάνω προκύπτει η ανάγκη του νανογραμματισμού των πολιτών του 21ου αιώνα. Ιδιαίτερα για τους μαθητές και τις μαθήτριες που μας απασχολούν εδώ είτε ως καταναλωτές είτε ως υποψήφιοι και υποψήφιες επιστήμονες-εργαζόμενοι και εργαζόμενες είτε ως πολίτες που θα κληθούν να πάρουν αποφάσεις στα πλαίσια του ευρύτερου κριτικού επιστημονικού γραμματισμού προκύπτει η ειδικότερη ανάγκη νανογραμματισμού τους. Όταν οι μαθητές κατέχουν γνώσεις και δεξιότητες οι οποίες τους κάνουν ικανούς να χειρίζονται θέματα της καθημερινής τους ζωής που βασίζονται στη Ν-ΕΤ τότε λέμε ότι έχουν «νανογραμματισμό». (Σπύρτου & συνεργάτες, 2018).

1.2: Βιομίμηση

Ο βιομιμητισμός, αν και πανάρχαια πρακτική στον ανθρώπινο πολιτισμό, είναι ένας σχετικά νέος όρος που επινοήθηκε το 1957 και υποδηλώνει την επιδίωξη της κατανόησης της συμπεριφοράς των φυσικών οργανισμών ώστε να προκύψουν εμπορικά προϊόντα που μιμούνται αυτές τις συμπεριφορές. Αυτό σημαίνει ότι η μελέτη των φυσικών οργανισμών αποτελεί μία δεξαμενή έμπνευσης για τους επιστήμονες και μηχανικούς ώστε να κατασκευάσουν προϊόντα που θα μιμούνται αυτές τις συμπεριφορές και θα συνεισφέρουν στην ποιότητα ζωής του σύγχρονου ανθρώπου. Στο πεδίο της N-ET αυτό που χρειάζεται να γίνει είναι να ανακαλυφθεί η ιδιαίτερη τοπογραφία στη μικρο ή/και στη νανοκλίμακα, να μελετηθεί το πώς η συγκεκριμένη δομή επιδρά στην εκδήλωση των ιδιαίτερων συμπεριφορών, να κατασκευαστεί αυτή η νανοδομή με σκοπό να ενσωματωθεί σε ένα προϊόν, ώστε τελικά το τελευταίο να αποκτήσει καινοτομική συμπεριφορά (Μάνου 2019).

Στη συγκεκριμένη εργασία θα αναφερθούμε σε διαδικασίες βιομίμησης (α) για το φαινόμενο του λωτού και (β) για το φαινόμενο της σαύρας γκέκο. Τα δύο φαινόμενα και μερικές πλευρές τους που εμφανίζουν ενδιαφέρον για τη μελέτη και αναπαραγωγή τους από τους επιστήμονες και μηχανικούς της N-ET παρουσιάζονται πιο αναλυτικά σε επόμενες παραγράφους της εργασίας

1.3: Μέγεθος και κλίμακα

Η προσπάθεια εισαγωγής της N-ET στην εκπαίδευση απαιτεί μεταξύ άλλων την καθιέρωση βασικών εννοιών. Έννοιες όπως το «μέγεθος και η κλίμακα», «οι ιδιότητες που εξαρτώνται από το μέγεθος», τα «όργανα και η οργανολογία» η «Επιστήμη-Τεχνολογία-Κοινωνία» (Μάνου 2019) βρίσκονται στο επίκεντρο σχεδόν κάθε διδακτικής απόπειρας στο πεδίο της N-ET σε κάθε βαθμίδα εκπαίδευσης. Το «μέγεθος και κλίμακα» εκλαμβάνεται ως προαπαιτούμενη έννοια για την κατανόηση των υπολοίπων εννοιών της N-ET. Συγκεκριμένα, υποστηρίζεται, ότι οι μαθητές αρχικά είναι σημαντικό να κατανοήσουν την ύπαρξη μιας κλίμακας πιο μικρής από την κλίμακα των κυττάρων. Επίσης είναι σημαντικό να κατανοήσουν ότι η νανοκλίμακα περιλαμβάνει αντικείμενα με διαφορετικό μέγεθος μεταξύ τους. Έτσι, με βάση τον παραπάνω προβληματισμό φαίνεται ότι, η διδασκαλία και η μάθηση του περιεχομένου της N-ET συνδέεται στενά με τη διδασκαλία και τη μάθηση του μεγέθους και της κλίμακας(Μάνου, 2019)

1.3.1: Για την προσέγγιση και την οριοθέτηση της νανοκλίμακας

Το ευρύ φάσμα μεγεθών του φυσικού κόσμου ξεκινώντας από τα ορατά αντικείμενα με γυμνό μάτι προς τα αόρατα λόγω του πολύ μικρού μεγέθους τους αντικείμενα για τις διδακτικές ανάγκες έχει διαιρεθεί προσεγγιστικά σε τέσσερις περιοχές: τη μακροκλίμακα, τη μικροκλίμακα, τη νανοκλίμακα και την ατομική κλίμακα. Η περιγραφή της νανοκλίμακας μπορεί να γίνει είτε απόλυτα είτε σχετικά με τις άλλες τρεις κλίμακες. Οι γνωστικές δεξιότητες που επιδιώκουμε επιβάλλουν κυρίως τη σχετική προσέγγιση. Η καθεμία κλίμακα μπορεί να χαρακτηρίζεται πέρα από την αντίστοιχη μονάδα μέτρησης και από δύο ποιοτικά κριτήρια: (i) τα χαρακτηριστικά αντικείμενα ή αντικείμενα αναφοράς(landmark objects) της κάθε κλίμακας, καθώς και (ii)τα όργανα που χρησιμοποιούνται για τη μελέτη των αντικειμένων.(Σπύρτου & συνεργάτες 2008). Με κατεύθυνση από το μεγαλύτερο προς το μικρότερο, το μικρότερο αντικείμενο που μπορούμε να δούμε με γυμνό μάτι και αποτελεί το κατώτατο όριο στη μακροκλίμακα έχει μέγεθος μερικά κλάσματα του χιλιοστόμετρου(περίπου 0,05 έως 0,10 mm). Τέτοιο αντικείμενο είναι το πάχος μιας ανθρώπινης τρίχας. Το μικρότερο αντικείμενο που μπορούμε να δούμε με ένα οπτικό μικροσκόπιο έχει μέγεθος μερικά κλάσματα του μικρόμετρου (περίπου 0,2 μm) και αποτελεί το κατώτατο όριο της μικροκλίμακας. Χαρακτηριστικά αντικείμενα εδώ είναι τα ερυθρά αιμοσφαίρια και τα βακτήρια. Πιο

μικρά αντικείμενα μπορούν να παρατηρηθούν με τα ηλεκτρονικά μικροσκόπια. Προσεγγιστικά τα αντικείμενα με διαστάσεις 1-100 νανόμετρα(nm) ανήκουν στη νανοκλίμακα με αντικείμενα αναφοράς τις πρωτεΐνες, τους ιούς, το μόριο του DNA και μικρά μόρια όπως είναι τα μόρια του νερού. Αν κατέβουμε σε μικρότερες διαστάσεις της τάξης του 1 Ανγκστρομ =0,1 nm έχουμε εισέλθει στην ατομική κλίμακα. Αντικείμενο αναφοράς εδώ μπορεί να θεωρηθεί το άτομο του υδρογόνου με ατομική ακτίνα περίπου 0,025 nm. Άρα η προσέγγιση και η περιγραφή της νανοκλίμακας μπορεί να γίνει ποσοτικά με βάση τη μονάδα μέτρησης νανόμετρο και ποιοτικά(i) με βάση τα χαρακτηριστικά αντικείμενα ή/και (ii) το ηλεκτρονικό μικροσκόπιο και σε συσχέτιση με τις άλλες κλίμακες. Από τη σκοπιά της διδακτικής περιεχομένου της N-ET οι Σπύρτου, Μάνου, Πέϊκος και Παπαδοπούλου(2018) παρουσιάζουν μια εκπαιδευτική προσέγγιση για τη διδασκαλία και τη μάθηση του μεγέθους και της κλίμακας που βασίζεται στο πλαίσιο που προτείνουν οι Magana et al(2012). Στο πλαίσιο αυτό, όπως αναφέρουν, αναγνωρίζονται πέντε γνωστικές διαδικασίες και τα αντίστοιχα επίπεδα κατανόησης τα οποία και παραθέτουν. Στις ίδιες διαδικασίες βασίστηκε σε μεγάλο βαθμό ο σχεδιασμός της εδώ εργασίας για την ποιοτική και ποσοτική διδακτική προσέγγιση για το μέγεθος και την κλίμακα στα πλαίσια της N-ET. Στα πλαίσια του διδακτικού μετασχηματισμού χρησιμοποιήθηκαν επίσης οι έννοιες μακρόκοσμος, μικρόκοσμος, νανόκοσμος και ατομικός κόσμος για την προσέγγιση των αντίστοιχων κλιμάκων.

1.3.2: Για τα όργανα παρατήρησης

Η έννοια «όργανα και οργανολογία» μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να ταξινομηθούν αντικείμενα σύμφωνα με το εργαλείο που χρησιμοποιείται για την απεικόνισή τους, π.χ. μπορούμε να μελετήσουμε τα μακροσκοπικά αντικείμενα με τα γυμνά μας μάτια, την μικροκλίμακα με οπτικό μικροσκόπιο, τη νανοκλίμακα με ηλεκτρονικό μικροσκόπιο (Rogers et al., 2014, Stevens et al., 2009). Όπως διαβάζουμε στον Μάνου (2019) μετά από τα οπτικά μικροσκόπια που χρησιμοποιούσαν δέσμη φωτός και μας επέτρεψαν τη μελέτη του μικρόκοσμου ανακαλύφθηκαν τα ηλεκτρονικά μικροσκόπια. Αυτά χρησιμοποιούσαν δέσμη ηλεκτρονίων και μπορούσαν να διακρίνουν αντικείμενα που το μέγεθός τους ήταν μέσα στα όρια της νανοκλίμακας. Στη συνέχεια ανακαλύφθηκε μία νέα γενιά μικροσκοπίων τα Σαρωτικά Μικροσκόπια Ακίδας-ScanningProbeMicroscopes(SPM). Εδώ η ακίδα (probe) μπορεί να προσομοιωθεί με ένα

δάκτυλο που ακουμπά και σαρώνει μία επιφάνεια στο τυφλό σύστημα Braille ή με τη βελόνα ενός πικάπ που σαρώνει ένα δίσκο βινυλίου(δύο αναλογίες που μπορούν να χρησιμοποιηθούν διδακτικά : μέσω των νέων οργάνων μπορούμε να ‘ψηλαφίσουμε’ και να απεικονίσουμε το ανάγλυφο μιας νανοεπιφάνειας). Επιπλέον ένας άλλος τύπος μικροσκοπίων ακίδας, το Σαρωτικό Μικροσκόπιο Σήραγγας (Scanning Tunneling Microscope) εκμεταλλεύεται το κβαντικό φαινόμενο σήραγγας ώστε να επιτρέπει τον χειρισμό άτομο προς άτομο (Stevens et al., 2009). Ο τελευταίος τύπος μικροσκοπίων μπορεί διδακτικά να εισάγει στον ατομικό κόσμο μετά το νανόκοσμο. Στην εργασία αυτή εστιάσαμε στη δυνατότητα που παρέχουν τα όργανα σε επιστήμονες και μηχανικούς όχι μόνο να παρατηρήσουν αλλά και να χειριστούν δομές της νάνο αλλά και της ατομικής κλίμακας (Μάνου, 2019). Επίσης στα πλαίσια της διδακτικής ‘αδείας’ του διδακτικού μετασχηματισμού χρησιμοποιήσαμε τον όρο ‘κβαντικά’ μικροσκόπια και την ιστορική σειρά με την οποία εμφανίστηκαν τα μικροσκόπια: οπτικά > ηλεκτρονικά > ‘κβαντικά’

Η ποιοτική προσέγγιση και περιγραφή της νανοκλίμακας με βάση το όργανο παρατήρησης, σύμφωνα με το πλαίσιο των Magana et al(2012) βασίστηκε κυρίως στη γνωστική διαδικασία της γενίκευσης και της λογικής αναλογικής σκέψης.

1.4: Το φαινόμενο της σαύρας γκέκο

Συνοπτικά πρόκειται για το φαινόμενο κατά το οποίο το πέλμα μιας σαύρας gecko κολλάει και ξεκολλάει πολύ γρήγορα επιτρέποντας σε αυτήν να αναρριχτεί κατακόρυφα χωρίς να πέφτει σε πάρα πολλές επιφάνειες.

1.4.1: Η σαύρα γκέκο – Το φαινόμενο γκέκο

Σήμερα είναι γνωστά περίπου 1000 είδη σαμιαμιδιών, αλλά αυτό που έχει μελετηθεί εκτεταμένα τα τελευταία χρόνια είναι το Tokay Gecko (Gekko gekko).

Η Tokaygecko (Εικόνα 1 1) εντοπίζεται από τη βορειανατολική Ινδία μέχρι το Ινδοαυστραλιανό αρχιπέλαγος. Είναι το δεύτερο μεγαλύτερο είδος σαύρας της οικογένειας Gecko που ζει σε τροπικά δάση, βραχώδεις ακτές και δέντρα¹.



Εικόνα 1: Η σαύρα: Tokay Gecko

Πηγή: <https://zooearth.com/exotic-animals/introducing-the-tokay-gecko-a-shy-and-secretive-lizard.html>

Όπως διαβάστηκε στη Σακελλάρη στη χώρα μας, στην οικογένεια των Gecko ανήκει το λεγόμενο σαμιαμίδι (Εικόνα 22). Το Μεσογειακό σαμιαμίδι (Hemidactylus turcicus) (Linnaeus, 1758) είναι μικρόσωμη σαύρα και τη συναντάμε κυρίως στη Μεσόγειο και αποτελεί το πιο ευπροσάρμοστο ερπετό του κόσμου. Είναι νυκτόβιο, ιδιαίτερα ευκίνητο και γρήγορο. Το σαμιαμίδι είναι ένα ερπετό εντελώς ακίνδυνο και παράλληλα ωφέλιμο καθώς τρέφεται με μύγες, κουνούπια και σκόρους συμβάλλοντας με τον τρόπο αυτό στον έλεγχο των πληθυσμών τους.



Εικόνα 2: Το ελληνικό σαμιαμίδι της οικογένειας των Gecko

Πηγή: <https://el.wikipedia.org/wiki/%CE%A3%CE%B1%CE%BC%CE%B9%CE%B1%CE%BC%CE%AF%CE%B4%CE%B9>

Οι σαύρες Γκέκο είναι σε θέση να «κολλούν» και να «ξεκολλούν» τα δάχτυλά τους σε κλάσματα του δευτερολέπτου, ενώ τρέχουν πάνω κάτω σε οποιαδήποτε επιφάνεια (Autumn&Gravish, 2008: 1575)

Έχει παρατηρηθεί ότι η σαύρα γκέκο κινείται ακόμη και σε γυάλινες επιφάνειες με ανάποδη κλίση με χαρακτηριστική άνεση.

Όπως προαναφέρθηκε ο άνθρωπος ανέκαθεν προσπαθούσε να παρατηρήσει τη φύση και να αναπαράγει τα μυστικά της για δικό του όφελος. Οι εντυπωσιακές ιδιότητες των σαμιαμιδιών δεν αποτελούν εξαίρεση. Με βάση αυτή την παρατήρηση, πολλές επιστημονικές ομάδες ανά τον κόσμο προσπαθούν να “εκμαιεύσουν” τα μυστικά από τα πόδια του σαμιαμιδιού (μολυντηριού), ώστε να δοκιμάσουν πιθανές εφαρμογές σε καθημερινές και μη ανάγκες.²

1.4.2: Η προσκόλληση

Όπως διαβάστηκε στη Σακελλάρη (2019) για τον ορισμό της προσκόλλησης (adhesion), οι Rungo et al. (2011) αναφέρουν ότι: «Γενικά όταν δυο στερεές (τραχειές) επιφάνειες έρχονται σε επαφή μεταξύ τους εμφανίζονται φυσικές, χημικές και μηχανικές αλληλεπιδράσεις. Η δύναμη που αναπτύσσεται και τις συγκρατεί είναι γνωστή ως προσκόλληση (adhesion)». Κατά καιρούς υπήρχαν πολλές θεωρίες σχετικά με τους μηχανισμούς που ήταν υπεύθυνοι για την ικανότητα της Γκέκο να προσκολλάται σε διάφορες επιφάνειες. Τέτοιοι ισχυρισμοί ήταν: α) κόλλα, β) βεντούζες, γ) ηλεκτροστατική έλξη και δ) τριβή και μικροεμπλοκή (Autumn&Peattie, 2002; Autumn&Gravish, 2008). Οι υποθέσεις αυτές αποκλείστηκαν διαχρονικά μία προς μία καθώς με την πρόοδο της τεχνολογίας προέκυπταν σταδιακά νέα δεδομένα.

²Αντλήθηκαν πληροφορίες από: <http://atmitos.gr/samiamidi-mistika-pou-kollane/>

Από τις μελέτες που έχουν γίνει από τη δεκαετία του 1960 μέχρι πρόσφατα στις αρχές του 21^{ου} αι. επικρατεί η άποψη ότι οι δυνάμεις van der Waals είναι οι κύριες υπεύθυνες για την ισχυρή προσκόλληση της γκέκο. Στην ίδια εργασία της Σακελλάρη (2019) συναντάμε σχετικά:

«Στις αρχές του 20^{ου} αιώνα ο Haase ανέφερε ότι η ικανότητα προσκόλλησης της σαύρας οφείλεται στην ύπαρξη διαμοριακών δυνάμεων vanderWaals (Autumn&Gravish, 2008; Autumn&Peattie, 2002).

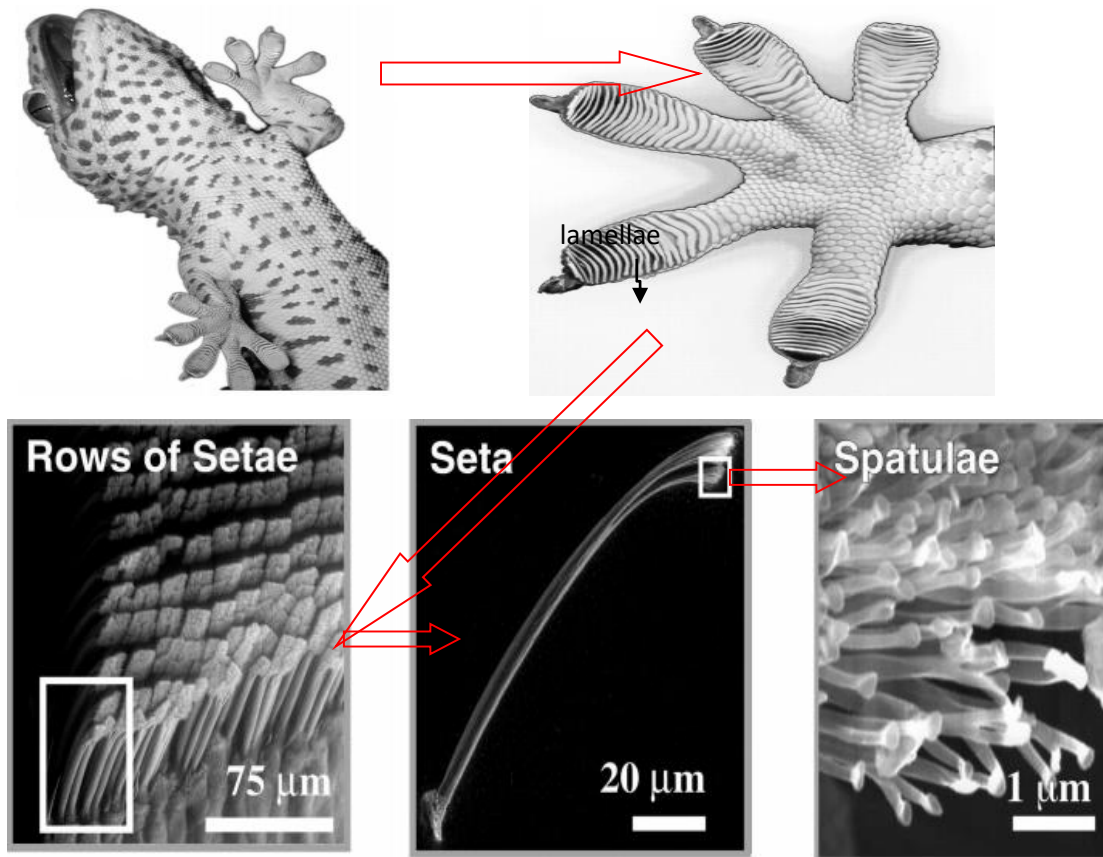
Ο Hiller (1968, 1969, 1975: όπως διαβάστηκε στους Autumn&Peattie, 2002) παρείχε την πρώτη άμεση απόδειξη ότι οι διαμοριακές δυνάμεις είναι υπεύθυνες για την προσκόλληση της σαύρας Γκέκο.

Επίσης από την ίδια εργασία παραθέτουμε συμπερασματικά ότι «οι δυνάμεις vanderWaals έχουν αναγνωριστεί στη βιβλιογραφία ως ο κυρίαρχος μηχανισμός προσκόλλησης της σαύρας. Συνεπώς, εντοπίζεται έντονο ενδιαφέρον από την επιστημονική κοινότητα να μελετηθούν περαιτέρω τα χαρακτηριστικά των ποδιών της σαύρας(Bhushan, 2007)».

1.4.3: Η ιεραρχική δομή

Στη Σακελλάρη(2019) διαβάζουμε ότι η αποκάλυψη των λεπτομερειών στη δομή της επιφάνειας των δακτύλων μιας σαύρας gecko έγινε εφικτή με την ανακάλυψη και εξέλιξη του ηλεκτρονικού μικροσκοπίου. Σήμερα γνωρίζουμε ότι στα πέλματα της γκέκο η δομή είναι ιεραρχική. Σχηματίζονται σειρές από φυλλώδεις δομές (lamellae) οι οποίες αποτελούν συστοιχίες από τριχίδια (setae) και καθένα τριχίδιο διασπάται σε πολυάριθμες διακλαδώσεις (spatulae). Στην Εικόνα 3 βλέπουμε τις δομές αυτές όπως φαίνονται στο ηλεκτρονικό μικροσκόπιο και στην Εικόνα 4 μοντέλα αναπαράστασής τους. Παραθέτει επίσης ότι η ιεραρχική δομή (Autumn&Gravish, 2008; Bhushan, 2007; Sitti, 2003; Bhushan, 2011; Bhushan, 2010) του πέλματος της σαύρας της δίνει την προσαρμοστικότητα για να δημιουργήσει μια μεγάλη επιφάνεια επαφής με τις διάφορες επιφάνειες.

Για το ρόλο της ιεραρχικής δομής του πέλματος της γκέκο στην εμφάνιση των δυνάμεων προσκόλλησης αντλούμε σχετικά από την ίδια εργασία (Σακελλάρη, 2019) και συνοψίζουμε:



Εικόνα 3: Σταδιακή μεγέθυνση ενός δακτύλου του ποδιού της σαύρας. Η κάτω σειρά εικόνων προέρχεται από Ηλεκτρονικό Μικροσκόπιο Σάρωσης (SEM). Εικόνες από (Autumn & Peattie, 2002, σ. 1082).

Οι δυνάμεις nan der Waals είναι πολύ ασθενείς ωστόσο ένας μεγάλος αριθμός αυτών των αλληλεπιδράσεων θα μπορούσε να δημιουργήσει μια ισχυρή συνολική(συνισταμένη) δύναμη με επιθυμητά κάθε φορά αποτελέσματα. Στην περίπτωση της σαύρας με τη δομημένη επιφάνεια των δακτύλων των ποδιών της, με τις πολυάριθμες σπαθοειδείς απολήξεις προκύπτει μεγάλη(‘πραγματική’) επιφάνεια επαφής της σαύρας με την επιφάνεια στην οποία ακουμπά κάθε φορά. Έτσι προκύπτει μεγάλος αριθμός από ασθενείς αλληλεπιδράσεις που όλες μαζί δημιουργούν μεγάλη συνολική δύναμη μεταξύ των επιφανειών που οδηγεί στην προσκόλληση της σαύρας. Επίσης η απόσταση μεταξύ δυο επιφανειών σε επαφή επηρεάζει την ισχύ της δύναμης προσκόλλησης. Οι δυνάμεις van der Waals εμφανίζονται όταν οι δύο επιφάνειες

πλησιάζουν σε απόσταση κάτω από 2nm. Οι σπάτουλες των δακτύλων της gecko είναι αρκετά ευλύγιστες (και λεπτές) ώστε να εισχωρήσουν ανάμεσα στις πτυχώσεις και στις προεξοχές μίας οποιασδήποτε επιφάνειας, με αποτέλεσμα να εξασφαλίζεται άμεση επαφή, τεράστιο εμβαδόν επιφάνειας επαφής και άρα ισχυρή προσκόλληση(Hornyak, Tibbals, Dutta, & Moore, 2008)



Εικόνα 4: Μοντέλα αναπαράστασης που φαίνονται διαδοχικά οι δομές lamellae, setae και spatulae

Πηγή: <https://www.youtube.com/watch?v=YeSuQm7KfaE&t=181s>

1.4.4: Συνοπτικά

Συμπερασματικά μπορούμε να πούμε ότι οι πολυάριθμες απολήξεις-σπάτουλες εξασφαλίζουν (και) την ελαστικότητα στο πέλμα της σαύρας gecko και της επιτρέπουν ταυτόχρονα: α) αφενός να προσαρμόζεται σε επιφάνειες με διαφορετικά ανάγλυφα β) αφετέρου να αυξομοιώνει την επιφάνεια επαφής του πέλματός της με την επιφάνεια που αναρριχάται. Έτσι μπορεί με μεγάλη ταχύτητα να αυξάνει την επιφάνεια επαφής όταν «κολλάει» στην επιφάνεια που αναρριχάται και να τη μειώνει όταν «ξεκολλάει».

1.5: Το φαινόμενο του λωτού

1.5.1: Ο λωτός – Το φαινόμενο του λωτού

Ο λωτός είναι ένα υδρόβιο ασιατικό φυτό που έχει την ικανότητα να διατηρεί τα φύλλα του στεγνά και καθαρά μολονότι αναπτύσσεται σε λασπώδη περιβάλλοντα και βρώμικες λίμνες. Για το λόγο αυτό ο λωτός αποτέλεσε σύμβολο αγνότητας ασιατικών πολιτισμών για περισσότερα από 2000 χρόνια.

Οι σταγόνες νερού που πέφτουν πάνω στα φύλλα του λωτού δεν απλώνονται. Αντίθετα απωθούνται από την επιφάνεια των φύλλων, αποκτούν σφαιρικό σχήμα και κατρακυλούν πάνω στην επιφάνεια παρασύροντας σωματίδια βρωμιάς ή λάσπης. Συμβάλλουν έτσι στον αυτοκαθαρισμό των φύλλων του φυτού. Αυτή η διπλή ικανότητα δηλαδή επιφάνειες να απωθούν το νερό και να αυτοκαθαρίζονται είναι γνωστή ως φαινόμενο του λωτού (Σπύρτου, Μάνου, Πέικος, & Παπαδοπούλου, 2018).



Εικόνα 2: Λωτοί στο Πεκίνο



Εικόνα 3: Σταγόνα νερού σε φύλλο λωτού

Εικόνες από (Lee, 2014 σ.54 και σ.55 αντίστοιχα)

Φυτά που εμφανίζουν συμπεριφορά ανάλογη με το φύλλο του λωτού και μπορούν να βρεθούν στην Ελλάδα, είναι το μπρόκολο, το κουνουπίδι, η εχεβέρια, η βιγόνια κτλ. (Σπύρτου, Μάνου, Πέικος, & Παπαδοπούλου, 2018).

Στο φαινόμενο του λωτού οι επιφάνειες είναι ταυτόχρονα υπερ-υδρόφοβες (απωθούν το νερό) και αντικολλητικές για τα σωματίδια βρωμιάς και σκόνης. Αυτό έχει σαν

αποτέλεσμα να μένουν στεγνές και καθαρές. Σήμερα, και στο βαθμό που οι επιστήμονες έχουν αποκρυπτογραφήσει αυτή τη συμπεριφορά ήδη μεγάλη γκάμα προϊόντων τιμούνται σε καθημερινές εφαρμογές. Το 2000 το εμπορικό σήμα *φαινόμενο του λωτού* καθιερώθηκε ως επιγραφή σε προϊόντα αυτοκαθαρισμού τα οποία μιμούνται την παραπάνω συμπεριφορά του φυτού(Σπύρτου, Μάνου, Πέικος, & Παπαδοπούλου, 2018).

1.5.2: Η ιεραρχική δομή

Σήμερα γνωρίζουμε ότι η εντυπωσιακή συμπεριφορά των φύλλων του φυτού του λωτού οφείλεται πέρα από τη χημική τους σύσταση και στην ιδιαίτερη δομή της επιφάνειάς τους. Οι Σπύρτου, Μάνου, Πέικος, & Παπαδοπούλου(2018) περιγράφουν την ιεραρχική δομή στο φύλλο του λωτού ως εξής:

«Φωτογραφίες που ελήφθησαν με ηλεκτρονικό μικροσκόπιο (Εικόνα 7) αποκάλυψαν ότι η επιφάνεια του φύλλου του λωτού καλύπτεται από προεξοχές(*μυρμύρες*) μεγέθους μικροκλίμακας(τυπικό μέγεθος περίπου 10 μm) οι οποίες απέχουν μεταξύ τους περίπου 10 μm .



Εικόνα 7: Εικόνες από ηλεκτρονικό μικροσκόπιο της επιφάνειας του φύλλου του λωτού. Αριστερά: Μικροπροεξοχές στην επιφάνειά του Στη μέση: Μεγέθυνση μιας μικροπροεξοχής στην οποία διακρίνονται οι νανοπροεξοχές Δεξιά: Διακρίνονται καθαρά οι νανοπροεξοχές

Πηγή:https://media.springernature.com/lw785/springer-static/image/prt%3A978-90-481-9751-4%2F12/MediaObjects/978-90-481-9751-4_12_Part_Fig1-158_HTML.gif

Αυτές οι μικροπροεξοχές με τη σειρά τους καλύπτονται από ένα επιπλέον στρώμα κηρωδών δομών που έχουν σχήμα σωληναρίων (*tubules*) διαμέτρου περίπου 100nm(νανοπροεξοχές. Αυτή η πολύπλοκη γεωμετρική δομή θεωρείται υπεύθυνη για την υπερ-υδρόφοβη συμπεριφορά του λωτού»

1.5.3: Η υπερ-υδροφοβικότητα

Τα υλικά ανάλογα με το βαθμό διαβροχής τους ταξινομούνται σε υπερ-υδρόφιλα, υδρόφιλα, υδρόφοβα και υπερ-υδρόφοβα.

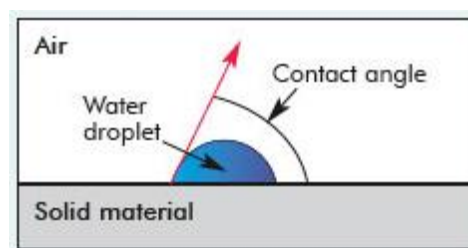
Η πιο απλή μέθοδος για να χαρακτηριστεί μία επιφάνεια ως υπέρ-υδρόφοβη είναι να παρατηρήσουμε τη μορφή της σταγόνας με το μάτι: Οι σταγόνες φαίνονται ολοσφαιρικές σαν πέτρες και κατακυλάνε με την παραμικρή κλίση της επιφάνειας(Εικόνα 8)



Εικόνα 8: Σταγόνες νερού σε φύλλο λωτού

Πηγή: https://sites.psu.edu/abcdesigns/wp-content/uploads/sites/11370/2014/04/drops_on_a_leaf-scaled1000.jpg

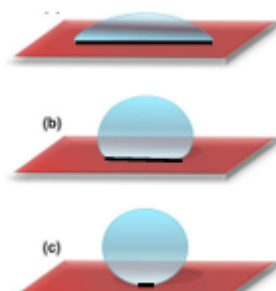
Η κύρια παράμετρος που περιγράφει την ικανότητα του νερού να βρέχει μία επιφάνεια είναι η γωνία επαφής, η οποία σχηματίζεται από την επιφάνεια και το υγρό στο σημείο όπου οι τρεις φάσεις, στερεό, υγρό, αέριο, συναντώνται (Kubiak, Wilson, Mathia, &Carval, 2011; Bhushan, 2010b; Lee, 2014) (Εικόνα 9). Μία επιφάνεια στην οποία η γωνία επαφής σταγόνας-επιφάνειας είναι μικρή χαρακτηρίζεται ως υδρόφιλη, ενώ μία επιφάνεια με υψηλές τιμές γωνίας επαφής χαρακτηρίζεται ως υδρόφοβη. Η ταξινόμηση των επιφανειών ως προς την υδροφοβικότητα γίνεται με βάση τη γωνία επαφής σταγόνας-επιφάνειας και το σχήμα της σταγόνας (Σπύρτου, Μάνου, Πέικος & Παπαδοπούλου, 2018). Για γωνίες επαφής από 150° μέχρι 180° η επιφάνεια χαρακτηρίζεται ως υπερυδρόφοβη. Στα φύλλα του λωτού η γωνία επαφής μεταξύ σταγόνας και φύλλου είναι 164° (Bhushan, 2012b).(οπ. διαβάστηκε από Μάνου, 2019)



Εικόνα 9: Η γωνία επαφής μεταξύ σταγόνας νερού και στερεής επιφάνειας

Πηγή: https://www.nanowerk.com/spotlight/id19644_6.jpg

Η γωνία επαφής (Contact Angle), είναι αυτή που διαχωρίζει αν μία σταγόνα που πέφτει πάνω σε μία επιφάνεια θα τη διαβρέξει περισσότερο ή λιγότερο (Μάνου 2019). Όσο μεγαλύτερη είναι η γωνία επαφής τόσο πιο σφαιρικό είναι το σχήμα της σταγόνας και τόσο μικρότερη η επιφάνεια επαφής που 'φαίνεται' ανάμεσα στη στερεή επιφάνεια και την υγρή σταγόνα (Εικόνα 10).



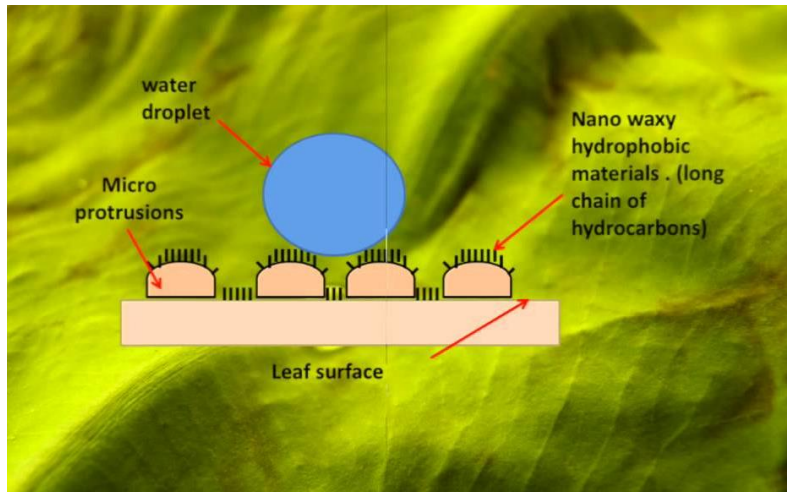
Εικόνα 10: (επεξεργασμένη): Σχηματική αναπαράσταση της επιφανειακής επαφής για (a) υδρόφιλη επιφάνεια (b) υδρόφοβη επιφάνεια και (c) υπερυδρόφοβη επιφάνεια. Η μαύρη γραμμή δείχνει την έκταση της επιφανειακής επαφής που 'φαίνεται' ανάμεσα στη στερεή επιφάνεια και την υγρή σταγόνα

Πηγή: https://www.researchgate.net/publication/261516233/figure/fig1/AS:399602734911489@1472284124302/A-schematic-showing-a-hydrophilic-surface-with-water-contact-angle-less-than-90-b_Q320.jpg

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

Μία επιφάνεια, όπως αυτή του φύλλου του λωτού, χαρακτηρίζεται από χαμηλή δύναμη συνάφειας τόσο εξαιτίας της χημείας της επιφάνειας όσο και εξαιτίας της τοπογραφίας η οποία θα επιτρέψει στο νερό να διατηρήσει το σφαιρικό του σχήμα (Lee, 2014).

Πέρα από την ιδιαίτερη τοπογραφία με την ιεραρχική δομή η νανο-επίστρωση από φυσικό κερί στην επιφάνεια του φύλλου του λωτού μειώνει την πραγματική επιφάνεια επαφής άρα και τις δυνάμεις συνάφειας (adhesion) μεταξύ σταγόνας και επιφάνειας. Τότε οι δυνάμεις συνοχής ανάμεσα στα μόρια του νερού της σταγόνας υπερτερούν σε σχέση με τις δυνάμεις προσκόλλησης ανάμεσα στα μόρια του νερού και της στερεής επιφάνειας του φύλλου. Έτσι τα μόρια του νερού 'δένονται σφιχτά' μεταξύ τους, η σταγόνα κρατάει το σφαιρικό της σχήμα και δε διαποτίζει την επιφάνεια του φύλλου. Αδιαβροχοποιείται.



Εικόνα 11: Η μικρότερη επιφάνεια επαφής έχει σαν αποτέλεσμα την ελάχιστη ή σχεδόν καθόλου προσκόλληση: η σταγόνα του νερού είναι σα να είναι στον αέρα

Πηγή: <https://i.ytimg.com/vi/bFiOkxoXLic/maxresdefault.jpg>

Οι

νανοπροεξοχές πάνω στις μικροπροεξοχές μειώνουν την επιφάνεια επαφής(Εικόνα 11). Χωρίς τις νανοπροεξοχές η γωνία επαφής σταγόνας και επιφάνειας υπολογίστηκε στις 147° . Η θεώρηση των νανοπροεξοχών στις μικροπροεξοχές ήταν αυτή που συμφωνούσε με την μετρήσιμη τιμή της γωνίας επαφής στο λωτό, δηλαδή στις 160° περίπου. (Μάνου, 2019)

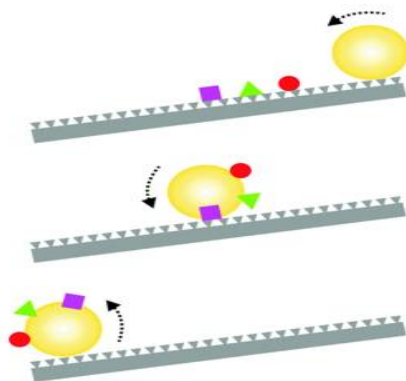
Ο Μάνου (2019) επίσης παραθέτει: Η ελάχιστη επιφάνεια επαφής της σταγόνας με την επιφάνεια είναι η βασική αιτία για τις πολύ μικρές γωνίες στις οποίες εξασφαλίζεται η κύλιση της σταγόνας (Σχήμα 15) (Ensikat, Ditsche-Kuru, Neinhuis, & Barthlott, 2011). Πλέον, ο συμφωνημένος ορισμός της υπερυδροφοβικότητας που ισχύει σήμερα εκτός από τη γωνία επαφής, η οποία πρέπει να είναι μεγαλύτερη από 150° , περιλαμβάνει και τη γωνία κύλισης της σταγόνας, η οποία πρέπει να είναι μικρότερη από 10° (Law&Zhao, 2016).

1.5.4: Ο αυτοκαθαρισμός

Η μικρή γωνία κλίσης είναι χαρακτηριστική των αυτοκαθαριζόμενων επιφανειών (Bhushan, 2012b).

Όπως εξηγεί ο Μάνου(2019) σε αυτές τις (εννοεί στερεές) επιφάνειες σωματίδια σκόνης και βρωμιάς επικάθονται όπως ένας φακίρης σε μία επιφάνεια με καρφιά. Όπως συμβαίνει και με τη σταγόνα του νερού η επιφάνεια επαφής μεταξύ των σωματιδίων

βρωμιάς και της στερεής επιφάνειας είναι σημαντικά μειωμένη. Ως εκ τούτου μειώνονται σημαντικά και οι δυνάμεις συνάφειας μεταξύ τους. Καθώς οι σταγόνες του νερού κυλάνε κατά μήκος της επιφάνειας, τα διάφορα μολυσματικά σωματίδια προσκολλώνται στην επιφάνεια ή στο εσωτερικό της σταγόνας και απομακρύνονται από την(στερεή) επιφάνεια, με αποτέλεσμα τον αυτοκαθαρισμό της (Εικόνα 12).



Εικόνα 12: Σχηματική αναπαράσταση για το μηχανισμό αυτοκαθαρισμού σε υπερυδρόφοβη επιφάνεια

Πηγή: https://pubs.rsc.org/image/article/2017/CS/c6cs00751a/c6cs00751a-f24_hi-res.gif

Ο λόγος είναι ότι οι διαμοριακές δυνάμεις ανάμεσα στα σωματίδια βρωμιάς και τη σταγόνα είναι ισχυρότερες από τις ασθενείς δυνάμεις van der Waals ανάμεσα στα σωματίδια βρωμιάς και τη στερεή επιφάνεια. Δηλαδή η σταγόνα 'τραβάει' πιο ισχυρά προς το μέρος της τα 'ξένα' σωματίδια απ' ό,τι τα 'τραβάει' η στερεή επιφάνεια. Αυτός ο μηχανισμός αυτοκαθαρισμού είναι ανεξάρτητος από τη χημεία των σωματιδίων, δηλαδή αν αυτά είναι υδρόφοβα ή υδρόφιλα και προσφέρει ένα μέσο προστασίας του φυτού από μικροοργανισμούς που μπορούν να του προκαλέσουν ασθένειες, όπως μύκητες και βακτήρια Μάνου (2019). Συνοψίζοντας η νανο-επίστρωση από φυσικό κερί πάνω στη μικρο-δομή του φύλλου 'απωθεί' αμφότερα τα σωματίδια 'βρωμιάς' και τις σταγόνες νερού 'παραχωρώντας' το πεδίο δράσης στις μεταξύ τους διαμοριακές δυνάμεις προς όφελος του φυτού.

1.6: Σύνδεση περιεχομένου Ν-ΕΤ με ΑΠΣ-ΔΕΠΠΣ Δευτεροβάθμιας Εκπαίδευσης

Οι προϋπάρχουσες γνώσεις που ήταν αναμενόμενες μέσα από το τυπικό περιεχόμενο των ΑΠΣ-ΔΕΠΠΣ για τη Δευτεροβάθμια Εκπαίδευση έχουν σχέση

α) με τη δομή και τη λειτουργία του κυττάρου που πραγματεύεται:

-στη Βιολογία της Α΄ Γυμνασίου (κεφ.1: Η οργάνωση της ζωής, υποενότητα 1.2: ΚΥΤΤΑΡΟ: Η μονάδα της ζωής)

-στη Βιολογία Β΄ και Γ΄ Γυμνασίου (Κεφάλαιο 1: Οργάνωση της ζωής – Βιολογικά συστήματα, υποενότητα 1.1: Τα μόρια της ζωής και υποενότητα 1.2: ΚΥΤΤΑΡΟ: Η μονάδα της ζωής) και

-στη Βιολογία της Α΄ Λυκείου(Κεφάλαιο 1: Από το κύτταρο στον οργανισμό)

β) με τη δράση των λευκοκυττάρων και των αντισωμάτων που πραγματεύεται

-στη Βιολογία Β΄ και Γ΄ Γυμνασίου (Κεφάλαιο 4: Οι ασθένειες και οι παράγοντες που σχετίζονται με την εμφάνισή τους, υποενότητα 4.2: Ασθένειες - Παθογόνοι μικροοργανισμοί και ασθένειες-ιοί, βακτήρια, μύκητες, πρωτόζωα και υποενότητα 4.3: Αμυντικοί μηχανισμοί του ανθρώπινου οργανισμού-Φαγοκυττάρωση)

γ) με τις δυνάμεις που εμφανίζονται μεταξύ ιόντων και μορίων (δυνάμεις Coulomb, δυνάμεις van der Waals) και με την πολικότητα των μορίων λόγω διαφοράς ηλεκτραρνητικότητας στον πολωμένο ομοιοπολικό δεσμό από τη Χημεία της Α΄ Λυκείου (Κεφάλαιο 2.3: Γενικά για το χημικό δεσμό - Παράγοντες που καθορίζουν τη χημική συμπεριφορά του ατόμου. Είδη χημικών δεσμών (ιοντικός - ομοιοπολικός)

δ) με τις υποδιαιρέσεις των μονάδων μέτρησης (Εισαγωγή, Γ. Το Διεθνές Σύστημα Μονάδων S.I.- Προθέματα μονάδων του συστήματος S.I.)

ε) με τους τρεις νόμους του Νεύτωνα από τη Φυσική της Α΄ Λυκείου (Κεφ1, παρ.1.2: Δυναμική σε μία διάσταση και παρ.1.3: Δυναμική στο επίπεδο)

1.7: Οι ιδέες των μαθητών/μαθητριών

Με τον όρο 'ιδέες των μαθητών/μαθητριών' (ι.μ.) αναφερόμαστε στις προηγούμενες 'άδηλες' γνώσεις και αντιλήψεις των διδασκομένων, σχετικά με το περιεχόμενο που θέλουμε να διδάξουμε, πριν τη διδακτική παρέμβαση.

Η διδασκαλία των Φ.Ε. με βάση τις ιδέες των μαθητριών και των μαθητών εξαρτάται από το σχεδιασμό κατά τέτοιο τρόπο που να οδηγεί στην εξέλιξη των ιδεών τους (Σακελλάρη, 2019). Στο σχεδιασμό της διδασκαλίας, είναι χρήσιμο οι μαθητές με μικρά βήματα να φτάσουν στις επιστημονικές απόψεις (Driver et al., 1998). Αυτό σημαίνει ότι από το βαθμό εξέλιξης των ι.μ. προς 'όφελος' της επιστημονικής γνώσης κρίνεται και η αποτελεσματικότητα της διδακτικής παρέμβασης.

Για το περιεχόμενο που διδάχθηκε στα πλαίσια αυτής της εργασίας η αναζήτησή μας στη βιβλιογραφία συγκλίνει συνοπτικά και ενδεικτικά στα εξής:

-Για τη νοηματοδότηση των όρων 'Νανοεπιστήμη-Νανοτεχνολογία' φαίνεται ότι όχι μόνο μαθήτριες και μαθητές αλλά και εκπαιδευτικοί των Φυσικών Επιστημών συνδέουν κατά πλειοψηφία τους όρους αυτούς με κάτι πολύ μικρό σε μέγεθος ή κάτι που συμβαίνει σε πολύ μικρή π.χ. ατομική κλίμακα και όχι λόγου χάρη με τις μοναδικές ιδιότητες που εμφανίζει η ύλη στη νανοκλίμακα. Με λίγα λόγια με βάση τις περιορισμένες σχετικές έρευνες, όπως συνοψίζει ο Μάνου(2019), μπορούμε να καταγράψουμε την τάση ότι εκπαιδευτικοί και μαθητές μπορεί να έχουν ακούσει τους όρους «Νανοτεχνολογία ή Νανοεπιστήμη» μεν, αλλά δεν μπορούν να διατυπώσουν μία ενημερωμένη νοηματοδότηση για το τι αντιπροσωπεύουν ή περιλαμβάνουν αυτοί οι όροι.

-Για το 'μέγεθος και κλίμακα' η μέχρι τώρα καταγεγραμμένη έρευνα αποκαλύπτει λανθασμένες αντιλήψεις και δυσκολίες οι οποίες είναι πιο ισχυρές όσο πιο μακριά είναι το μέγεθος των αντικειμένων από τα όρια των ανθρώπινων αισθήσεων. Π.χ. για μαθήτριες και μαθητές της δευτεροβάθμιας εκπαίδευσης το 'μικρό' συνδέεται με κάτι αόρατο από το γυμνό μάτι που μπορεί να είναι αδιακρίτως το ερυθρό αιμοσφαίριο, το κύτταρο, το άτομο και κάποια υποατομικά σωματίδια, όπως τα πρωτόνια και τα ηλεκτρόνια με συνεπαγόμενη την αδυναμία της σειροθέτησής τους ως προς το μέγεθος. Δυσκολίες συναντούν οι μαθητές και στη σειροθέτηση των μονάδων μέτρησης και στον ορισμό των χιλιοστόμετρου, μικρόμετρου και νανόμετρου ως κλάσματα του μέτρου (Μάνου, 2019). Επίσης για μαθήτριες και μαθητές της δευτεροβάθμιας εκπαίδευσης έχει καταγραφεί σημαντική δυσκολία στο να απαντήσουν πόσες φορές

μεγαλύτερο/μικρότερο είναι ένα αντικείμενο σε σχέση με άλλο αντικείμενο αναφοράς . Γενικότερα οι δυσκολίες στην αντίληψη του μεγέθους σχετίζονται με τη διάταξη (ordering), την ομαδοποίηση (grouping), τη σύγκριση (πόσες φορές μεγαλύτερο ή μικρότερο είναι ένα αντικείμενο από ένα άλλο) και το απόλυτο μέγεθος (ποιο είναι το ακριβές μέγεθος ενός αντικειμένου). Έχει διαπιστωθεί ότι ο βαθμός δυσκολίας συναρτάται ισχυρά με την ηλικία των μαθητριών και των μαθητών και με σχολικές ή άλλες εμπειρίες. Όπως παραθέτει ο Μάνου (2019) η αντιληπτική ικανότητα των μαθητών για το μέγεθος και τη κλίμακα μεταβάλλεται καθώς αλλάζει η τάξη στην οποία φοιτούν (Tretter et al., 2006).

-Για το φαινόμενο της σαύρας γκέκο και για το φαινόμενο του λωτού οι περισσότεροι μαθητές και μαθήτριες(αλλά και φοιτητές/φοιτήτριες και εκπαιδευτικοί) δίνουν εναλλακτικές εξηγήσεις μακριά από την Επιστημονική άποψη. Π.χ. οι σταγόνες είναι σφαιρικές γιατί η επιφάνεια του φύλλου είναι λεία και η σαύρα σκαρφαλώνει χωρίς να πέφτει εξαιτίας των βεντουζών ή νυχιών που διαθέτει στα πόδια της. Όπως συμπεραίνει στην εργασία της η Ρόγκου(2018) η πλειοψηφία των συμμετεχόντων στην έρευνά της αποδίδουν τα δύο φαινόμενα σε φυσικές ιδιότητες και χαρακτηριστικά του μακρόκοσμου όπως η επιφάνεια-υφή του υλικού, η ικανότητα απορρόφησης(για το φαινόμενο του λωτού) και τα χαρακτηριστικά στα πόδια της σαύρας ή η επιφάνεια/σχήμα ποδιού σαύρας και η επιφάνεια στήριξης(για το φαινόμενο γκέκο). Υπογραμμίζει δε ότι παρόμοια συμπεραίνουν και οι έρευνες των Σακελλάρη και Μάνου (2017) και Αλεξίου, Πέικος και Μάνου (2017).

1.8: Επισημάνσεις

Η ολοκληρωμένη ερμηνεία του φαινομένου της σαύρας γκέκο και του φαινομένου του λωτού έχει μεγάλες απαιτήσεις σε επιστημονικό περιεχόμενο και επιστημονική μεθοδολογία. Στα πλαίσια της εργασίας αυτής πολλές παράμετροι που συντρέχουν στην ολοκληρωμένη ερμηνεία των δύο φαινομένων είτε παραλείφθηκαν, είτε αφέθηκαν στο παρασκήνιο ή προσεγγίστηκαν ακροθιγώς. Για παράδειγμα στο φαινόμενο γκέκο ο ρόλος της γωνίας με την οποία το πέλμα της σαύρας συναντά την επιφάνεια¹ στην αύξηση της επιφάνειας επαφής για τη γρήγορη προσκόλληση και στη μείωση της επιφάνειας επαφής για τη γρήγορη αποκόλληση δεν συμπεριλήφθηκε στους στόχους. Ομοίως και ο ρόλος της τραχύτητας της επιφάνειας και της υγρασίας. Στο φαινόμενο του λωτού παραλείφθηκε από το σχεδιασμό η επιφανειακή τάση που συμβάλλει στο σφαιρικό σχήμα της σταγόνας του νερού, οι αποστάσεις των μικροδομών στο φύλλο του λωτού, η παρεμβολή του αέρα, η γωνία κλίσης της επιφάνειας, η γωνία υστέρησης ενώ η γωνία επαφής ως κριτήριο για την ταξινόμηση των υλικών ως προς τη διαβροχή τους (Τσιλφίδου, 2020) επιλέχτηκε να αναφερθεί μόνο ποιοτικά μέσω εικόνων χωρίς να δοθεί ο ορισμός της. Κάποιες από αυτές τις παραμέτρους επιλέχτηκε να αναφερθούν σε καίρια σημεία της διδασκαλίας (π.χ. με αφορμή κάποιο σχόλιο ή ερώτηση από κάποιο μαθητή/-τρια) ώστε να αναδειχτεί πόσο σύνθετα είναι τα φαινόμενα αυτά και να υπάρχει η σχετική επίγνωση των ορίων της γνώσης που επιδιώκουμε. Η απώτερη στόχευση ήταν να διαπιστώσουν οι μαθητές και οι μαθήτριες της Α΄ Λυκείου ότι αυτές οι ιδιότητες εμφανίζονται στη νανοκλίμακα και ότι οι διαδικασίες για την τεχνητή αναπαραγωγή τους από τη Νανοτεχνολογία προϋποθέτει την πολύ καλή γνώση και ερμηνεία των φαινομένων αυτών από τη Νανοεπιστήμη καθώς και υψηλών απαιτήσεων όργανα παρατήρησης και διαχείρισης της ύλης στην κλίμακα αυτή. Με τη στόχευση αυτή πλαισιώθηκε ο σκοπός της εργασίας, έγιναν οι αφαιρέσεις και διατυπώθηκαν τα ερευνητικά ερωτήματα(βλ. επόμενο κεφάλαιο)

¹ <https://www.youtube.com/watch?v=YeSuQm7KfaE>

ΚΕΦ.2: Μεθοδολογία

2.1: Σκοπός

Σκοπός της εργασίας αυτής ήταν ο σχεδιασμός, η εφαρμογή και η αξιολόγηση μιας ΔΜΣ σχετικά με εισαγωγικές έννοιες της ΝΕΤ, με το φαινόμενο της σαύρας Γκέκο και με το φαινόμενο του λωτού σε άτυπο περιβάλλον μάθησης για μαθήτριες και μαθητές της Α΄ Λυκείου.

2.2: Ερευνητικά ερωτήματα

Για την εξυπηρέτηση του σκοπού αυτού διατυπώθηκαν τα ερευνητικά ερωτήματα, όπως παρουσιάζονται στον Πίνακα 1.

Πίνακας 1: Τα ερευνητικά ερωτήματα

Ερευνητικά Ερωτήματα (ΕΕ)
ΕΕ1: Πώς τροποποιείται η νοηματοδότηση των όρων «Νανοεπιστήμη» και «Νανοτεχνολογία» από τις μαθήτριες και τους μαθητές της Α΄ Λυκείου μετά την εφαρμογή της ΔΜΣ;
ΕΕ2: Πώς κατανοούν οι μαθήτριες και οι μαθητές της Α΄ Λυκείου τα σχετικά μεγέθη αντικειμένων αναφοράς σε διαφορετικές κλίμακες;
ΕΕ3: Πώς εξηγούν οι μαθήτριες και οι μαθητές της Α΄ Λυκείου την ικανότητα της σαύρας Γκέκο να περπατάει σε διάφορες επιφάνειες χωρίς να πέφτει πριν και μετά τη διδακτική παρέμβαση;
ΕΕ4: Πώς διαφοροποιούνται οι απόψεις των μαθητριών και των μαθητών της Α΄ Λυκείου για το σχήμα μιας σταγόνας νερού πάνω σε υπερυδρόφοβη και υδρόφιλη επιφάνεια;
ΕΕ5: Πως μεταβάλλονται οι γνώσεις των μαθητριών και των μαθητών της Α΄ Λυκείου για παραδείγματα νανοϋλικών και τις χρήσεις τους;

2.3: Το δείγμα

Η ΔΜΣ εφαρμόστηκε σε ένα επαρχιακό Γενικό Λύκειο του νομού Πιερίας σε ένα τμήμα 22 ατόμων της Α΄ Λυκείου. Οι μαθήτριες και οι μαθητές φοιτούσαν στην Α΄ τάξη του Λυκείου για το διδακτικό έτος 2020-2021¹ και δεν είχαν διδαχθεί ποτέ στο παρελθόν, περιεχόμενο σχετικό με την Νανοεπιστήμη/Νανοτεχνολογία. Από τα 22 άτομα του

τμήματος δε συμπλήρωσαν το αρχικό(pre) ερωτηματολόγιο πέντε(5) άτομα. Στα ίδια άτομα δε δόθηκε για συμπλήρωση ούτε το τελικό(post) ερωτηματολόγιο. Δε συμπλήρωσαν το τελικό ερωτηματολόγιο επιπλέον τέσσερα(4) άτομα διότι απουσίαζαν² στη μεγαλύτερη διάρκεια της εφαρμογής. Για τα ίδια τέσσερα (4) άτομα αφαιρέθηκαν οι απαντήσεις τους από τα αρχικά ερωτηματολόγια. Το δείγμα διαμορφώθηκε σε δεκατρία (N=13) άτομα από τα οποία τα δώδεκα (12) είναι κορίτσια και το (1) είναι αγόρι.

¹από τις 6 Νοεμβρίου 2020 μέχρι και την εφαρμογή της ΔΜΣ η φοίτηση γινόταν από απόσταση

²όσο αυξανόταν η διάρκεια της τηλεκπαίδευσης τόσο συχνότερες ήταν οι απουσίες παιδιών

2.4: Εργαλεία

2.4.1: Το ερωτηματολόγιο

Οι Méheut & Psillos (2004) αναφέρουν ότι μια τάση για την αξιολόγηση μιας ΔΜΑ αποτελεί η σύγκριση της αρχικής με την τελική γνωστική κατάσταση των μαθητών (final and initial cognitivestate). Αυτή η σύγκριση πραγματοποιείται ως προς τους αρχικούς στόχους που έχουν τεθεί κατά το σχεδιασμό μιας ΔΜΑ με γραπτά ερωτηματολόγια που συμπληρώνονται, πριν και μετά την εφαρμογή της (όπως διαβάστηκε από Σακελλάρη). Για να απαντηθούν στην εργασία αυτή τα πέντε ερευνητικά ερωτήματα ΕΕ1, ΕΕ2, ΕΕ3, ΕΕ4 και ΕΕ5 σχετικά με την εξέλιξη της νοηματοδότησης της Ν-ΕΤ, της ποιοτικής σχεσιακής αντίληψης για το μέγεθος και την κλίμακα, του φαινομένου της σαύρας Γκέκο, του φαινομένου του λωτού και της γνώσης των νανοϋλικών και της χρήσης τους μετά τη διδακτική παρέμβαση σχεδιάστηκε ερωτηματολόγιο(βλέπε παράρτημα) με ερωτήσεις ανοικτού τύπου για τη συλλογή κυρίως ποιοτικών δεδομένων. Το ερωτηματολόγιο στάλθηκε ηλεκτρονικά στις μαθήτριες και τους μαθητές ως φόρμα της google και συμπληρώθηκε πριν και μετά την εφαρμογή της ΔΜΣ.

2.4.2: Μέθοδος ανάλυσης δεδομένων

Για την ταξινόμηση των απαντήσεων στις ερωτήσεις 4, 6 και 9 του ερωτηματολογίου (βλέπε Παράρτημα) χρησιμοποιήθηκαν τα Επίπεδα Κατανόησης σύμφωνα με τους Πέικος κ.ά. (2015), Πέικος (2016) και Σακελλάρη (2016), τα οποία είναι ιεραρχικά. Πιο συγκεκριμένα, στο υψηλότερο επίπεδο ταξινομούνται οι απαντήσεις των μαθητών που προσεγγίζουν την Επιστημονική γνώση (Ε3), στο επόμενο επίπεδο οι απαντήσεις που εκφράζουν την Μερικώς Επιστημονική γνώση (Ε2), στο αμέσως επόμενο επίπεδο οι Εναλλακτικές Ιδέες των μαθητών ή αλλιώς εκείνες που είναι μακριά από την

Επιστημονική άποψη (E1), τέλος στο κατώτερο επίπεδο (E0) ταξινομούνται οι απαντήσεις που δηλώνουν άγνοια ή ασάφεια. Όπως φαίνεται στον πίνακα 2, τα επίπεδα κατανόησης σχετίζονται με τις Μεγάλες Ιδέες(MI) του περιεχομένου τη NET. Οι MI είναι οι κεντρικές έννοιες με τις οποίες υποστηρίζεται ότι μπορεί να γίνει κατανοητό το επιστημονικό πεδίο της N-ET (Τσιλφίδου, 2020). Στην ίδια εργασία της Τσιλφίδου παρουσιάζονται συνοπτικά, οι MI της N-ET για τις τρεις βαθμίδες της εκπαίδευσης. Στις επόμενες παραγράφους θα εξειδικευτούν τα επίπεδα κατανόησης για τα επιμέρους ερωτήματα του ερωτηματολογίου που συμπλήρωσαν οι μαθήτριες και οι μαθητές. Όσο αφορά τις απαντήσεις για τη νοηματοδότηση της N-ET (Ερώτηση 4), για το φαινόμενο της σαύρας γκέκο (Ερώτηση 6) και για το φαινόμενο του λωτού(Ερώτηση 9)τα κριτήρια που εφαρμόστηκαν για την ταξινόμησή τους σε κάθε επίπεδο φαίνονται παρακάτω στον Πίνακα 2.

Πίνακας 2: Τα κριτήρια ταξινόμησης των απαντήσεων

Τα κριτήρια για τα επίπεδα κατανόησης στη νοηματοδότηση της NET, στο φαινόμενο γκέκο και στο φαινόμενο του λωτού	
E3: Επιστημονική άποψη	η απάντηση περιέχει ρητά τουλάχιστον έναν όρο νανογραμματισμού για μια τουλάχιστον MI
E2: Μερικώς Επιστημονική Άποψη	η απάντηση περιγράφει με γενικότητες έναν τουλάχιστον όρο νανογραμματισμού για μια τουλάχιστον MI
E1: Μακριά από την επιστημονική άποψη	η απάντηση δεν προσεγγίζει καμιά έννοια της N-ET ή είναι εντελώς υποκειμενική
E0: Κενό-Άγνοια-Ασάφεια	κενές απαντήσεις ή δηλώσεις άγνοιας ή ασυνάρτητες απαντήσεις

Παρακάτω δίνονται αυτούσιες μερικές ενδεικτικές απαντήσεις για την Ερ. 4 του ερωτηματολογίου μετά την εφαρμογή:

E3: «Νάνοεπιστημη: Η επιστήμη που μελετά φαινόμενα στην κλίμακα 1 έως 100 αντίμετρα. νανοτεχνολογία: αυτή που δημιουργεί και χρησιμοποιεί λειτουργικές δομές στην κλίμακα αυτή. Β. Νανοτριχίδια, ιοί»

E2: «Μια επιστημη που ασχολειται με τις μοναδες του νανομετρου σε μικροτερα σωματιδια οπως ιους,βακτηρια κτλ»

E1: «Η επιστήμη που μελετάει μικροσκοπικά σωματίδια/συστήματα»

Όσο αφορά τις απαντήσεις για την κατανόηση του μεγέθους και της κλίμακας (Ερώτηση 5) η ταξινόμησή τους έγινε σε τρία επίπεδα με τα κριτήρια που φαίνονται παρακάτω στον Πίνακα 3.

Πίνακας 3: Τα κριτήρια για τα επίπεδα κατανόησης του μεγέθους και της κλίμακας

Τα κριτήρια για τα επίπεδα κατανόησης του μεγέθους και της κλίμακας	
E2: Επιστημονική άποψη	η απάντηση δεν περιέχει κανένα λάθος στη σειροθέτηση
E1: Μερικώς Επιστημονική Άποψη	η απάντηση περιέχει ένα λάθος στη σειροθέτηση
E0: Μακριά από την επιστημονική άποψη	η απάντηση περιέχει δύο λάθη στη σειροθέτηση

Όσο αφορά τέλος τις απαντήσεις για τα νανοϋλικά και τη χρήση τους (Ερωτήσεις 11 και 12) τα κριτήρια για την ταξινόμησή τους σε τέσσερα επίπεδα κατανόησης φαίνονται στον Πίνακα 4.

Πίνακας 4: Τα κριτήρια για τα επίπεδα κατανόησης των νανοϋλικών και της χρήσης τους

Τα κριτήρια για τα επίπεδα κατανόησης των νανοϋλικών και της χρήσης τους	
E3: Επιστημονική άποψη	η απάντηση περιέχει αναφορά σε κάποιο νανοϋλικό και την εφαρμογή του
E2: Μερικώς Επιστημονική Άποψη	η απάντηση αναφορά σε τουλάχιστον ένα νανοϋλικό
E1: Μακριά από την επιστημονική άποψη	η απάντηση περιέχει γενική αναφορά σε κάποια εφαρμογή
E0: Κενό-Άγνοια-Ασάφεια	η απάντηση είναι ΟΧΙ ή κενό

2.5: Στάδια της εργασίας

Η εργασία πραγματοποιήθηκε σε οκτώ βασικά στάδια που περιγράφονται συνοπτικά παρακάτω.

Στάδιο Α

Έγινε βιβλιογραφική επισκόπηση σχετικά με την εισαγωγή περιεχομένου της Ν-ΕΤ στην υποχρεωτική εκπαίδευση, στην Ελλάδα και το εξωτερικό, καθώς και τις εναλλακτικές ιδέες των μαθητών για τη νοηματοδότηση του όρου «Νανοτεχνολογία-Νανοεπιστήμη»,

του φαινομένου της σαύρας Γκέκο και του φαινομένου του λωτού. Χρησιμοποιήθηκε κυρίως Ελληνική βιβλιογραφία όπως πρακτικά του συνεδρίου της ΕΝΕΦΕΤ, διπλωματικές, διδακτορικές και πτυχιακές εργασίες (Μάνου, 2021; Πέικος κα, 2018, Μάνου κα 2019).

- Έρευνα στο διαδίκτυο για αναζήτηση και συλλογή σχετικού εκπαιδευτικού υλικού(φωτογραφίες, μοντέλα, βίντεο, προσομοιώσεις, εφαρμογές νανοϋλικών)

Στάδιο Β: Έγινε προετοιμασία και σύνταξη του ερωτηματολογίου (βλέπε Παράρτημα) που συμπλήρωσαν οι μαθήτριες και οι μαθητές πριν και μετά την εφαρμογή της ΔΜΣ και διατυπώθηκαν τα ερευνητικά ερωτήματα.

Στάδιο Γ: Έγινε η αρχική σχεδίαση της Διδακτικής Μαθησιακής Σειράς(ΔΜΣ)

Στάδιο Δ: Οι μαθήτριες και οι μαθητές συμπλήρωσαν και έστειλαν ηλεκτρονικά το (pre) ερωτηματολόγιο.

Στάδιο Ε: Έγιναν τροποποιήσεις στον αρχικό σχεδιασμό λόγω της συνθήκης της πανδημίας (βλ. παρακάτω στο σχεδιασμό) και λόγω δεδομένων που προέκυψαν από τη συμπλήρωση του ερωτηματολογίου αρχικής μέτρησης.

Στάδιο ΣΤ: Έγινε η εφαρμογή της ΔΜΣ σε τμήμα 22¹ μαθητριών και μαθητών της Α΄ Λυκείου.

Στάδιο Ζ: Οι μαθήτριες και οι μαθητές συμπλήρωσαν και έστειλαν ηλεκτρονικά το ερωτηματολόγιο τελικής μέτρησης.

Στάδιο Η: Έγινε αξιολόγηση της εφαρμογής της ΔΜΣ από τη διδάσκουσα με βάση τις απαντήσεις των μαθητριών και των μαθητών στα pre και post ερωτηματολόγια.

2.6: Εγκυρότητα και αξιοπιστία

Παρότι οι παλαιότερες εκδοχές της εγκυρότητας βασίζονταν στην άποψη πως αποτελεί απαραίτητως απόδειξη του γεγονότος ότι ένα συγκεκριμένο ερευνητικό όργανο πράγματι να μετρά αυτά τα οποία επιδιώκει να μετρήσει, σε πιο σύγχρονες αναγνώσεις η εγκυρότητα μπορεί να πάρει πολλές μορφές (Cohen, Manion & Morriison, 2007).

Στην εργασία αυτή θεωρούμε ότι για τα πέντε ερευνητικά ερωτήματα(ΕΕ) (βλ. Πίνακα 1 στην παρ. 2.2) σε μεγάλο βαθμό μετρήθηκαν με τυπική(εσωτερική)συνέπεια αυτά που η

¹ Η ΔΜΣ εφαρμόστηκε σε τμήμα 22 ατόμων όμως τελικά το δείγμα ήταν 13 άτομα(N=13) (βλ. παραπάνω παρ. 2.3)

έρευνα επιδίωξε για τα EE1, EE2, EE3 και EE4 και σε μικρότερο βαθμό για το EE5. Π.χ. Έγινε προσεκτική επιλογή του δείγματος(παρ. 2.3), στο στάδιο του σχεδιασμού έγινε έλεγχος του περιεχομένου και της δομής του ερωτηματολογίου από τον επιβλέποντα της έρευνας, συμπεριλήφθηκαν τα δεδομένα όλων των ερωτηματολογίων ανεξάρτητα από τις προσδοκίες μας(αμεροληψία έρευνας), έγινε έλεγχος των δεδομένων και της ανάλυσής τους από έμπειρο ερευνητή(τον επιβλέποντα της εργασίας), πραγματοποιήθηκε εκτενής παρουσίαση της ανάλυσης των δεδομένων σε Επίπεδα(βλ. Πίνακες 2,3 και 4 στην παρ.2.4.2) κ. ά. Παράγοντες όμως όπως η ανατροπή του πλαισίου(τηλεκπαίδευση), η ειλικρίνεια και το βάθος των απαντήσεων που ήταν αδύνατο να επιβεβαιωθούν για το σύνολο των απαντήσεων στα κυρίως ποιοτικού τύπου δεδομένα που προσπαθήσαμε να συλλέξουμε μάλλον μειώνουν το βαθμό εγκυρότητας της έρευνας.

Ως προς την αξιοπιστία ενδεικτικά σημειώνουμε ότι η ερευνητική διαδικασία περιγράφεται αρκετά αναλυτικά και με σαφήνεια ώστε να είναι δυνατή η επαναληψιμότητά της και παρατίθενται στο σώμα της εργασίας αυτούσιες οι περισσότερες απαντήσεις ώστε να τεκμηριώνεται η πραγματική τους υπόσταση(Ρόγκου, 2018)

2.7: Σχεδιασμός διδακτικής παρέμβασης

Στα πλαίσια αυτής της εργασίας σχεδιάστηκε πιλοτική εφαρμογή διδακτικής μαθησιακής σειράς(ΔΜΣ) επτά διδακτικών ωρών σχετικών με τη NET σε ένα τμήμα 22 ατόμων Α΄ τάξης Γενικού Λυκείου όπως προαναφέρθηκε στην παρ. 2.3. Η διδακτική προσέγγιση ήταν η διερευνητική. Στο σχεδιασμό πάρθηκαν υπόψη **τρεις βασικοί παράγοντες**.

Πρώτος παράγοντας είναι το κοινωνικό, εκπαιδευτικό πλαίσιο π.χ. η επικαιρότητα της πανδημίας και της τηλεκπαίδευσης. Δεύτερος παράγοντας είναι το διαθέσιμο υλικό και οι επισημάνσεις της βιβλιογραφίας για την εισαγωγή περιεχομένου της NET στην εκπαίδευση(βλ. κεφ.1). Τρίτος παράγοντας είναι το μαθησιακό προφίλ των μαθητριών και των μαθητών που αναφέρεται i) στις προϋπάρχουσες γνώσεις σχετικές με το περιεχόμενο της NET που συνδέονται ή όχι με τα ΑΠΣ και ii) στις μαθησιακές ανάγκες και στον τρόπο που 'έχουν μάθει να μαθαίνουν' οι μαθητές και οι μαθήτριες της

συγκεκριμένης τάξης. Το τελευταίο εκτιμήθηκε από τη διδάσκουσα με βάση τη διδακτική εμπειρία τη διδακτική σχέση της με οι μαθήτριες και οι μαθητές μέχρι τη στιγμή που ξεκίνησε η εφαρμογή των διδασκαλιών.

2.7.1: Κοινωνικό εκπαιδευτικό πλαίσιο

Ως προς την επιλογή των ερωτημάτων προς διερεύνηση: Στο εισαγωγικό μέρος οι διδασκαλίες σχεδιάστηκαν γύρω από το ερώτημα «τι είναι ένας κορονοϊός;» και γύρω από το μηχανισμό μιας ίωσης. Συνδέθηκαν έτσι με το ευρύτερο κοινωνικό πλαίσιο και την επικαιρότητα της πανδημίας για την προσέγγιση της ναοκλίμακας(πλαισιωμένη μάθηση).

Οι διδασκαλίες για το φαινόμενο της σαύρας γκέκο και το φαινόμενο του λωτού σχεδιάστηκαν με αφετηρία ανάγκες της καθημερινότητας όπως ασφαλής αναρρίχηση, υπερυδρόφοβα και αυτοκαθαριζόμενα υλικά και αρθρώθηκαν γύρω από τη βιομίμηση: «Πώς θα πετύχουμε την ισχυρή και ασφαλή προσκόλληση του ρομπότ στα τοιχώματα ενός ουρανοξύστη;» και «πως θα κατασκευάσουμε ένα παρμπρίζ ...που να είναι σούπερ –υδρόφοβο και αυτοκαθαριζόμενο;».

Μέσα στα πλαίσια σύνδεσης με πλευρές της καθημερινότητας ενισχύεται ο αυθεντικός χαρακτήρας της μάθησης, μεγιστοποιείται το ενδιαφέρον των μαθητριών και των μαθητών άρα και τα προσδοκώμενα μαθησιακά αποτελέσματα.

Ως προς τη διδακτική προσέγγιση και τα μέσα διδασκαλίας: η συνθήκη της τηλεκπαίδευσης αναδείχτηκε, μάλλον, πρώτος σε σημασία παράγοντας καθώς έχει μηδενιστεί σχεδόν η ζωντανή αλληλεπίδραση μεταξύ των μαθητριών και των μαθητών και μεταξύ διδάσκουσας - παιδιών και τα διαθέσιμα εκπαιδευτικά εργαλεία ήταν αποκλειστικά τα ηλεκτρονικά εξ' αποστάσεως. Το κυριότερο είναι ότι στους τέσσερις και πλέον μήνες τηλεκπαίδευσης που προηγήθηκαν των διδασκαλιών έχει παρατηρηθεί σταδιακή μείωση της συμμετοχής των μαθητριών και των μαθητών. Τα ίδια οι μαθήτριες και οι μαθητές ομολογούν κόπωση και μειωμένη αποτελεσματικότητα των τηλεμαθημάτων. Τα δεδομένα αυτά στέρησαν από το σχεδιασμό των διδασκαλιών τα κατεξοχήν δυναμικά εργαλεία της διερευνητικής μάθησης όπως π.χ. τις αλληλεπιδραστικές ομαδικές δραστηριότητες. Οι δραστηριότητες προσαρμόστηκαν ώστε να μπορούν να υποστηριχτούν τεχνικά και χρονικά. Επίσης στάθηκε δύσκολο στο σχεδιασμό να γίνει διάκριση ανάμεσα σε τυπικό και άτυπο περιβάλλον μάθησης καθώς

αυτό θα απαιτούσε δεξιότητες στις οποίες δεν υπήρχε εξοικείωση ούτε και επαρκής τεχνική υποστήριξη. Παρόλα αυτά έγινε προσπάθεια ώστε ο σχεδιασμός να υποστηρίξει το διερευνητικό χαρακτήρα του. Π.χ. για οικονομία χρόνου δόθηκαν σοι μαθήτριες και οι μαθητές συγκεκριμένες πηγές για να απαντήσουν σε διερευνητικά ερωτήματα αντί να ψάξουν ελεύθερα στο διαδίκτυο.

2.7.2: Διαθέσιμο υλικό και επισημάνσεις βιβλιογραφίας

Στη βιβλιογραφία που χρησιμοποιήθηκε εντοπίστηκαν και μελετήθηκαν οι επιστημονικές θέσεις και η εξέλιξή τους για τις πυρηνικές έννοιες της NET(δηλ. οι εννέα MI για τη NET), για την ερμηνεία του φαινομένου του λωτού και του φαινομένου της σαύρας γκέκο (βλ. κεφ.1). Στη συνέχεια εντοπίστηκε και μελετήθηκε διδακτικά μετασχηματισμένο υλικό που κατά κύριο λόγο έχει δοκιμαστεί σε μαθητές και μαθήτριες της Πρωτοβάθμιας εκπαίδευσης. Εντοπίστηκαν επίσης προτάσεις για διδακτικές στρατηγικές που παίρνοντας υπόψη τις πρότερες γνώσεις των μαθητριών και μαθητών εφαρμόζονται πειραματικά ή που έχουν δώσει θετικά αποτελέσματα επανειλημμένα.

Έπειτα με έρευνα στο διαδίκτυο συλλέχτηκε επιπλέον εποπτικό υλικό.

Από το σύνολο του διαθέσιμου υλικού έγινε η επιλογή του περιεχομένου, των μέσων και των δραστηριοτήτων για τις επτά διδακτικές ώρες αφού λήφθηκαν υπόψη σημαντικές επισημάνσεις της βιβλιογραφίας όπως: π.χ. ότι το «μέγεθος και κλίμακα» εκλαμβάνεται ως προαπαιτούμενη έννοια για την κατανόηση των υπολοίπων εννοιών της N-ET(Μάνου, 2019). Οι διδακτικές προτάσεις που εντοπίστηκαν για το 'μέγεθος και κλίμακα' περιλαμβάνουν ενδεικτικά επίδειξη και ομαδοποίηση απτών αντικειμένων που ανήκουν σε διαφορετική κλίμακα, παράθεση φωτογραφιών από ομάδες ορατών και αόρατων αντικειμένων σε κάθε κλίμακα, βαθμιαία μεγέθυνση αντικειμένων με βίντεο ή διαδοχικές φωτογραφίες, προσομοιώσεις, κατασκευή και χρήση μοντέλων και αναλογιών κ. ά.

Παρόμοιες επισημάνσεις αναφέρονται και στην παρ. 1.7 σχετικά με τις ι.μ. και στην επόμενη παράγραφο 2.7.3 που τεκμηριώνουν τις συγκεκριμένες επιλογές που έγιναν στο σχεδιασμό αυτής της ΔΜΣ.

2.7.3: Μαθησιακό προφίλ των μαθητριών και μαθητών

i) ως προς τις προϋπάρχουσες γνώσεις στο σχεδιασμό λήφθηκαν υπόψη:

• οι προϋπάρχουσες γνώσεις που ήταν αναμενόμενες μέσα από το τυπικό περιεχόμενο των ΑΠΣ (βλ. παρ. 1.6). Αναλυτικότερα και ενδεικτικά οι θεωρούμενες γνώσεις συνδέθηκαν με το σχεδιασμό αυτής της διδακτικής παρέμβασης ως εξής:

- ✓ η δομή και η λειτουργία του κυττάρου από τη Βιολογία της Α΄ Γυμνασίου και της Α΄ Λυκείου και β) η δράση των λευκοκυττάρων και των αντισωμάτων από τη Βιολογία Β΄ και Γ΄ Γυμνασίου με την επιλογή του μοντέλου της ίωσης που χρησιμοποιήθηκε για το ΕΕ2(βλ. παρ.2.2) και για τη διατύπωση των αντίστοιχων διδακτικών στόχων
- ✓ η πολικότητα των μορίων λόγω διαφοράς ηλεκτραρνητικότητας στον πολωμένο ομοιοπολικό δεσμό από τη Χημεία της Α΄ Λυκείου με την επιλογή των δυνάμεων vander waals και της προσκόλλησης που χρησιμοποιήθηκαν για το ΕΕ3(βλ. παρ.2.2).
- ✓ Οι νόμοι του Νεύτωνα από τη Φυσική της Α΄ Λυκείου χρησιμοποιήθηκαν στην ερμηνεία της προσκόλλησης στο φαινόμενο γκέκο για το ΕΕ3. Χρησιμοποιήθηκαν και στην ερμηνεία της υπερυδροφοβικότητας και του αυτοκαθαρισμού στο φαινόμενο του λωτού για το ΕΕ4(βλ. παρ.2.2).

• οι προϋπάρχουσες γνώσεις από την εμπειρία και την αντίληψη των μαθητριών και των μαθητών που καταγράφηκαν στο ερωτηματολόγιο αρχικής μέτρησης. Συγκεκριμένα βρέθηκε ότι για μερικά παιδιά οι δυνάμεις που συγκρατούν τη σαύρα ανάποδα στο ταβάνι είναι οι τριβές. Αυτό οδήγησε στην επιλογή να προηγηθεί η διδασκαλία των δυνάμεων van der Waals έναντι της ιεραρχικής δομής και να χρησιμοποιηθεί η προσκόλληση και η ερμηνεία της ως κεντρική έννοια για τη διδασκαλία και των δύο φαινομένων με τη στόχευση να αποδυναμωθούν οι λανθασμένες απόψεις για τις τριβές.

• η προϋπάρχουσα γνώση που ήταν απαραίτητο, σύμφωνα με τη βιβλιογραφία(βλ. παρ. 2.7.2) να οικοδομηθεί για το 'μέγεθος και κλίμακα' στο πρώτο μέρος των μαθημάτων για να βελτιώσει το γνωστικό υπόβαθρο των μαθητριών και των μαθητών για τα δύο φαινόμενα. Για παράδειγμα προηγήθηκε η γνωριμία με τα μέρη του κορονοϊού όπως το γενετικό υλικό στον πυρήνα του, το πάχος του πρωτεϊνικού κελύφους, το 'μήκος' των πρωτεϊνικών ακίδων και η σύγκριση μεταξύ τους ως προς το μέγεθος καθώς και με τη μέση διάμετρό του. Αυτό παρέχει αρχικά ένα ποιοτικό και ταυτόχρονα ποσοτικό κριτήριο συγκρίσεων εντός της νανοκλίμακας. Η σύγκριση του κορονοϊού με άλλους ιούς ως προς το μέγεθος επιλέχτηκε για να διευκολύνει επίσης την αντίληψη των

διαφορετικών μεγεθών εντός της νανοκλίμακας με στόχο να βοηθήσει αργότερα στη σχετική οριοθέτηση του νανόκοσμου και τον ορισμό της NET. Ο νανόκοσμος ως ο κόσμος των ιών και του ηλεκτρονικού μικροσκοπίου (Σπύρτου, Μάνου, Πέικος, Παπαδοπούλου, 2018) Για τον ίδιο λόγο επιλέχτηκε και το μοντέλο της ίωσης. Η δραστηριότητα του κορονοϊού από τη στιγμή που φεύγει από ένα άτομο-φορέα, προσβάλλει ένα κύτταρο υγιούς ατόμου και μέχρι την αναπαραγωγή του και την έξοδο των νέων ιών από το σώμα του/της ασθενούς θεωρήθηκε ότι προσφέρεται για δραστηριότητες εξοικείωσης με τα σχετικά μεγέθη αντιπροσωπευτικών αντικειμένων του μικρόκοσμου και του νανόκοσμου και τη διάκριση των δύο κόσμων και έχει χρησιμοποιηθεί με θετικά αποτελέσματα. Συγκεκριμένα σχεδιάστηκαν διδακτικές δραστηριότητες γύρω από την αλληλεπίδραση του ιού με αντικείμενα συγκρίσιμα με αυτόν ως προς το μέγεθος όπως είναι άλλοι ιοί στην ατμόσφαιρα, μόρια του αέρα, σωματίδια σκόνης, επιθηλιακά κύτταρα, οργανίδια κυττάρου, πυρήνας κυττάρου, αντισώματα, λευκοκύτταρα κ.α. Η επιλογή του μηχανισμού της ίωσης συνδυάζει επιπλέον προϋπάρχουσες γνώσεις των μαθητριών και των μαθητών για το κύτταρο και τη δομή του από τη Βιολογία που έχουν διδαχθεί στο Γυμνάσιο και στην Α' Λυκείου όπως προαναφέρθηκε. Τέλος επιλέχτηκε να διδαχθεί πρώτα το φαινόμενο γκέκο και μετά το φαινόμενο του λωτού. Όστε η έννοια της προσκόλλησης να προσεγγιστεί βαθμιαία. Επειδή στο φαινόμενο γκέκο έχουμε μόνο ισχυρή προσκόλληση ανάμεσα στο πέλμα της σαύρας και στην επιφάνεια που προσκολλάται θεωρήθηκε πιο απλή η γνωριμία και η εξοικείωση των μαθητριών και των μαθητών με τις έννοιες της ιεραρχικής δομής, της επιφάνειας επαφής και της προσκόλλησης και με το μηχανισμό της προσκόλλησης λόγω των δυνάμεων van der Waals. Στο φαινόμενο του λωτού απαιτείται η σύγκριση της προσκόλλησης ανάμεσα σε 'σκουπιδάκια'-σταγόνα (ισχυρή), ανάμεσα σε 'σκουπιδάκια'-επιφάνεια φύλλου λωτού(ασθενής) και ανάμεσα σε σταγόνα νερού-επιφάνεια φύλλου λωτού(ασθενής). Η σύγκριση είναι πιο σύνθετη δεξιότητα και προϋποθέτει την εξοικείωση και αποσαφήνιση των συγκρίσιμων ποσοτήτων.

ii) ως προς το προφίλ και ειδικότερα ως προς τον τρόπο που 'έχουν μάθει να μαθαίνουν' οι μαθητές και οι μαθήτριες που συμμετείχαν στη σειρά των διδασκαλιών λήφθηκε υπόψη η μεγάλη τους εξοικείωση στο μοντέλο μεταφοράς της γνώσης και στην ανάθεση εργασιών για το σπίτι καθώς και η σημασία που δίνουν στην επίδοση. Π.χ. δεν έχουν εξοικειωθεί στην αναζήτηση και το φιλτράρισμα πληροφοριών για ν' απαντήσουν

συγκεκριμένο ερώτημα, διστάζουν να εκφράσουν τις απόψεις τους γιατί φοβούνται μήπως κάνουν λάθος ή αισθάνονται σιγουριά όταν τους δίνονται γραπτά οι σωστές απαντήσεις κ. ά.). Παρόλα αυτά οι προσπάθειες που έχουν γίνει από τη διδάσκουσα από την αρχή του τρέχοντος σχολικού έτους με δραστηριότητες διερευνητικής προσέγγισης, προσπάθειες αναπλαισίωσης της γνώσης, προσπάθειες απενοχοποίησης του λάθους κ.ά. έχουν βρει ανταπόκριση και φαίνεται να λειτουργούν θετικά σε μικρή μερίδα μαθητριών και μαθητών. Με βάση τα παραπάνω οι διδασκαλίες σχεδιάστηκαν ώστε να μπορούν να συναντούν αυτές τις διαφορετικές ανάγκες. Το υλικό των διαφανειών αρθρώθηκε έτσι που να δίνει την ευκαιρία και το χρόνο να απαντηθούν ερωτήματα προς διερεύνηση ή να διατυπωθούν υποθέσεις και στη συνέχεια να υπάρχει η ευκαιρία σύγκρισης των αρχικών απαντήσεων-υποθέσεων των μαθητριών και των μαθητών με την ρητά διατυπωμένη επιστημονική άποψη. Επίσης παίρνοντας υπόψη αυτές τις διαφορετικές ανάγκες έγινε προσπάθεια να πλαισιωθούν έτσι οι διδασκαλίες αυτές ώστε να κινητοποιηθεί το ενδιαφέρον των διαφόρων υποομάδων της τάξης. Για παράδειγμα σχεδιάστηκε στην πρώτη συνάντηση να γίνει ξεκάθαρο στις μαθήτριες και οι μαθητές ότι αυτή η σειρά μαθημάτων θα γίνει στα πλαίσια του Προγράμματος Σχολικής Δραστηριότητας(άτυπο περιβάλλον) με τίτλο: 'Νανοτεχνολογία και Περιβάλλον' στο οποίο συμμετέχουν ως τμήμα για το έτος 2020-2021 ως εκ τούτου πρόκειται για κάτι διαφορετικό από τα τυπικά μαθήματα. Ταυτόχρονα δηλώθηκε εξ αρχής ότι θα παρθεί θετικά υπόψη η ενεργός συμμετοχή τους.

ΚΕΦ.3: Εφαρμογή Διδακταλιών

Η εφαρμογή πραγματοποιήθηκε σε εννιά διδακτικές ώρες. Συνοπτικά το περιεχόμενο και οι στόχοι ανά διδακτική ώρα παρουσιάζονται στους Πίνακες 5-α, 5-β και 5-γ.

Πίνακας 5-α: Διδακτικοί στόχοι, περιεχόμενο και δραστηριότητες ανά διδακτική ώρα

(για το 1^ο μέρος: pre test και Εισαγωγή στη νανοκλίμακα)

Διδακτική ώρα	Περιεχόμενο	Στόχοι	Δραστηριότητες
1 ^η	Ερωτηματολόγια αρχικής μέτρησης (pre).	Η καταγραφή των ιδεών των μαθητών και μαθητριών	Συμπλήρωση και αποστολή ερωτηματολογίου σε φόρμα της google
2 ^η	Μέγεθος και κλίμακα	Η εξοικείωση με την ταξινόμηση αντικειμένων με βάση: •τα αντικείμενα αναφοράς •το σχετικό τους μέγεθος και •τις μονάδες μέτρησής τους ως υποδιαιρέσεις του μέτρου	Προβολή διαφανειών και συζήτηση για τη σύγκριση αντικειμένων με έναν κορονοϊό και τις σχετικές διαστάσεις τους
3 ^η	Οι τέσσερις κόσμοι και τα όργανα παρατήρησής τους: μακρόκοσμος, μικρόκοσμος, νανόκοσμος και ατομικός κόσμος. Ποσοτικός ορισμός της νανοκλίμακας.	•Η διάκριση των 4 κόσμων/κλιμάκων με βάση το όργανο παρατήρησης •Η ποιοτική και ποσοτική οριοθέτηση της νανοκλίμακας	•προβολή βίντεο για καταγραφή των αντικειμένων που συναντά ένας κορονοϊός στα στάδια μιας ίωσης •συμπλήρωση πίνακα για ομαδοποίηση αντικειμένων στους 4 κόσμους με βάση το όργανο παρατήρησης

3.1: Εφαρμογή 1^{ου} μέρους: Εισαγωγή στη νανοκλίμακα

1^η ώρα

Αρχικά οι μαθήτριες και οι μαθητές ενημερώθηκαν ότι συμμετέχουν σε κάτι πρωτοποριακό που αφορά τη δοκιμή εκπαιδευτικού υλικού σε μια γενικότερη

προσπάθεια που γίνεται για την ένταξη θεμάτων μοντέρνας φυσικής στα σχολικά προγράμματα σπουδών. Συμπλήρωσαν το ερωτηματολόγιο αρχικής μέτρησης (pre test). Ενημερώθηκαν ότι αυτή η σειρά μαθημάτων θα έχει ταυτόχρονα τη θέση των μαθημάτων Φυσικής και Βιολογίας του προγράμματός τους και θα είναι και κάτι σαν διάλειμμα έξω από αυτά. Τέλος ενημερώθηκαν ότι τα μαθήματα αυτά θα προσπαθήσουμε να γίνουν με έναν διαφορετικό και πιο ελεύθερο τρόπο. Θα δίνονται εργασίες που θα μας βοηθούσε αν συμμετείχαν και τις απαντούσαν όσο το δυνατόν περισσότερα άτομα και ότι η συμμετοχή τους αυτή θα λαμβανόταν υπόψη μόνο θετικά. Στο πλαίσιο αυτό τους ανακοινώθηκε η παρουσία του επιβλέποντα αυτής της πτυχιακής εργασίας Μάνου Λεωνίδα στο πρώτο δίωρο της εφαρμογής. Με τους τρόπους αυτούς επιδιώχθηκε να τους είναι ενδιαφέρον και να προσεγγιστεί το άτυπο περιβάλλον μάθησης. Ακολούθησε η εισαγωγή στις βασικές έννοιες της NET.

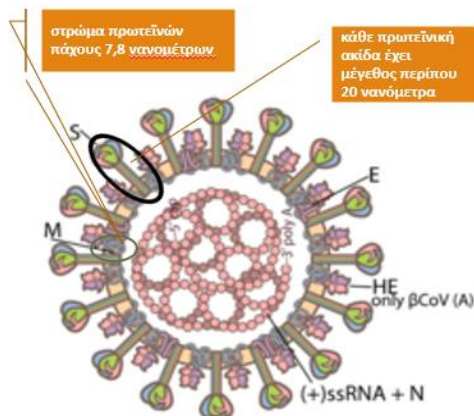
2^η ώρα

3.1.1: Μέγεθος και κλίμακα

Αρχικά ανακοινώθηκε με κατάλληλο τρόπο(π.χ.: Τι σχέση μπορεί να έχει η NET με την πανδημία;) σοι μαθήτριες και οι μαθητές ότι θα γίνει δίωρη διδασκαλία με θέμα τη Νανοεπιστήμη, Νανοτεχνολογία, Νανοκλίμακα μέσω της μελέτης του κοροναϊού και του μηχανισμού της ίωσης και τέθηκαν τα ερωτήματα προς διερεύνηση: α. Τι είναι ένας κοροναϊός; β. Πως μπορούμε να μετρήσουμε έναν κοροναϊό; γ. Πως μπορούμε να δούμε έναν κοροναϊό;

Για το ερώτημα α. Τι είναι ένας κοροναϊός;

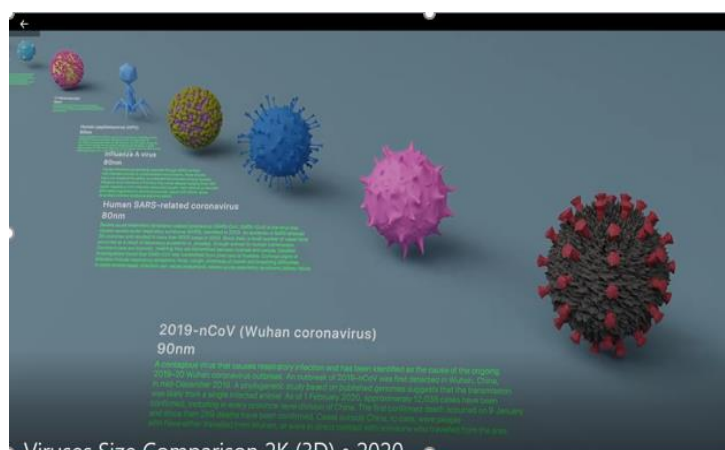
Έγινε συζήτηση και δόθηκε η απάντηση ότι *είναι απλά ένας ιός*. Προβλήθηκε διαφάνεια στην οποία απεικονίζονται τα βασικά μέρη του κορονοϊού (Εικόνα 13). Έτσι παρουσιάστηκε η διδακτικά μετασχηματισμένη περιγραφή του ιού με λίγες επιλεγμένες πληροφορίες που εστίαζαν στη δομή και το μέγεθός του. Σχολιάστηκαν ο πυρήνας με το γενετικό υλικό, το πρωτεϊνικό κέλυφος και οι πρωτεϊνικές ακίδες ως προς το σχετικό τους μέγεθος (Εικόνα 13).



Εικόνα 13: (επεξεργασμένη) Η εικόνα που χρησιμοποιήθηκε για τα βασικά μέρη ενός κοροναϊού

Για το ερώτημα β. Πως μπορούμε να μετρήσουμε έναν κοροναϊό;

Διατυπώθηκαν βοηθητικές κατευθυντικές ερωτήσεις όπως: «Είναι μεγάλος ή μικρός ένας κοροναϊός;» «Με ποια αντικείμενα έχει νόημα να τον συγκρίνουμε ως προς το μέγεθος;» «Ποια είναι η κατάλληλη μονάδα μέτρησης;». Διατυπώθηκαν σχετικές απαντήσεις όπως ότι θα πρέπει να τον συγκρίνουμε με αντικείμενα παρόμοιων διαστάσεων όπως π.χ. με άλλους ιούς. Προβλήθηκαν διαφάνειες στις οποίες απεικονίζονταν μόρια νερού, DNA, αντισώματα, ιοί, βακτήρια. Ζητήθηκε από οι μαθήτριες και οι μαθητές να συγκρίνουν μεταξύ τους τα αντικείμενα: «Πόσες περίπου φορές είναι μεγαλύτερος ένας ιός από ένα αντίσωμα;» «Πόσες φορές είναι μικρότερος από ένα βακτήριο;» Προβλήθηκε και το σύντομο βίντεο «[Viruses size comparison](#)»¹(Εικόνα 14)



Εικόνα 14: Στιγμιότυπο από το βίντεο «[Viruses size comparison](#)»

¹<https://www.youtube.com/watch?v=JBQ2ZiH9tqU>

Πάνω στο βίντεο έγινε συζήτηση για το νανόμετρο ως κατάλληλη μονάδα μέτρησης για τους ιούς, για το εύρος των διαστάσεων των ιών από 18 έως 1000 νανόμετρα και για το μέσο μέγεθος του covid 19 με διάμετρο 90 νανόμετρα. Η συζήτηση πάνω στο ερώτημα β, έκλεισε με τη σταδιακή σύνοψη των επιστημονικών απαντήσεων όπως φαίνονται στη διαφάνεια της Εικόνας 3.

Για να μετρήσουμε έναν κοροναϊό

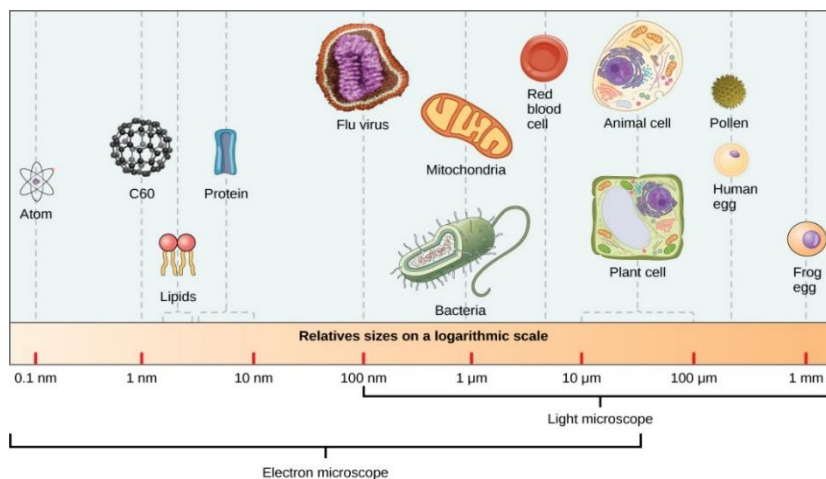
- τον συγκρίνουμε ως προς το μέγεθος με αντικείμενα που έχουν παρόμοιο μέγεθος –λίγο μεγαλύτερο ή λίγο μικρότερο όπως :
με άλλους ιούς, με βακτήρια, με αντισώματα, με κύτταρα, με τη διάμετρο της έλικας του DNA κ. α.
- η πιο κατάλληλη μονάδα μέτρησης : το νανόμετρο(nm) :
-1 νανόμετρο = 1 δισεκατομμυριοστό του μέτρου
- Το μέγεθος των ιών γενικά κυμαίνεται από μερικά ή κάποιες δεκάδες μέχρι και εκατοντάδες νανόμετρα.
-Οι κοροναϊοί είναι σχετικά μεγάλοι ιοί συγκρινόμενοι με άλλους ιούς. Η διάμετρος ενός κοροναϊού κυμαίνεται κατά μέσο όρο από 80 έως 120 nm.
-Ο covid -19 έχει διάμετρο περίπου 90 nm.
- οι πρωτεΐνες-ακίδες ενός κοροναϊού έχουν μέγεθος περίπου 20 nm

Εικόνα 15: Η διαφάνεια με τις απαντήσεις για τη μέτρηση ενός κοροναϊού

3.1.2: Γνωριμία με τα μικροσκόπια

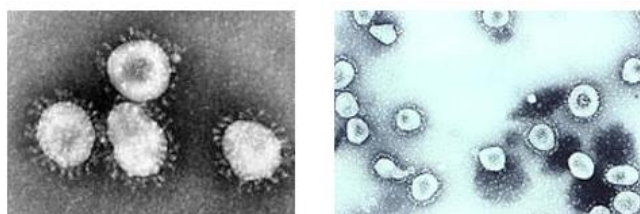
Για το ερώτημα γ. Πως μπορούμε να δούμε έναν κοροναϊό;

Τέθηκε η ερώτηση: «Ξέρουμε ότι η ύλη πάνω από 99% είναι κενός χώρος .Γιατί τότε δε βλέπουμε τις τρύπες;» με επιδίωξη να δοθεί έμφαση στους περιορισμούς του ανθρώπινου ματιού. Η καθοδηγούμενη συζήτηση κατέληξε στην ανάγκη για τεχνητά ‘μάτια’-όργανα. Έγινε διάκριση ανάμεσα στα τηλεσκόπια για τα πολύ μεγάλα και τα μικροσκόπια για τα πολύ μικρά αντικείμενα. Παρουσιάστηκαν τα μικροσκόπια μέσα από μια συνοπτική σύγκριση οπτικών και ηλεκτρονικών μικροσκοπίων. Διεξήχθη συζήτηση πάνω στην αφίσσα της Εικόνας 4 και έγινε διαχωρισμός ανάμεσα στα αντικείμενα που μπορούμε να διακρίνουμε με οπτικό και με ηλεκτρονικό μικροσκόπιο. Διαπιστώθηκε ότι κάποια αντικείμενα μπορούν να παρατηρηθούν και με τα δύο όργανα και σχολιάστηκαν τα μη αυστηρά και συμβατικά όρια μεταξύ των ‘κόσμων’.



Εικόνα 16: Αντικείμενα ορατά με το οπτικό και με το ηλεκτρονικό μικροσκόπιο - Αντικείμενα αναφοράς

Στην ερώτηση με ποιο όργανο μπορούμε να δούμε τον κορονοϊό υπήρξε μία απάντηση για το οπτικό, μια απάντηση για το ηλεκτρονικό και δύο με τρεις απαντήσεις και με τα δύο. Η συζήτηση για το μέσο μέγεθος των αντικειμένων αναφοράς στην αφίσσα και με δεδομένο ότι ο covid 19 έχει μέση διάμετρο 90nm κατέληξε ότι ο κοροναϊός γίνεται ορατός μόνο με το ηλεκτρονικό μικροσκόπιο. Η απάντηση στο ερώτημα γ. ολοκληρώθηκε με εικόνες του κοροναϊού στο ηλεκτρονικό μικροσκόπιο(Εικόνα 5).



Εικόνα 17: Κορονοϊοί στο ηλεκτρονικό μικροσκόπιο

Ακολούθησε εργασία εφαρμογής. Ζητήθηκε από τις μαθήτριες και τους μαθητές να απαντήσουν με ποιο όργανο θα έβλεπαν τα εξής αντικείμενα: πρωτεΐνες, βακτήρια, κύτταρο, πυρήνα κυττάρου, ένα μόριο νερού, ένα άτομο οξυγόνου. Οι περισσότερες απαντήσεις ήταν σωστές. Για αυτές/αυτούς που συνάντησαν δυσκολίες προβλήθηκε ξανά το εκπαιδευτικό υλικό ώστε να καταλήξουν στην επιστημονικά αποδεκτή απάντηση.

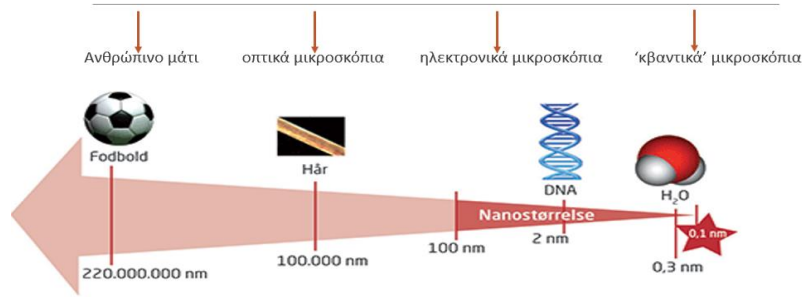
3^η ώρα

3.1.3: Οι τέσσερις κόσμοι, τα όργανα παρατήρησής τους και η οριοθέτηση της νανοκλίμακας

Προβλήθηκε το βίντεο [influenza](https://www.youtube.com/watch?v=7Omi0IPkNpY)² που περιγράφει τη δομή ενός ιού, το μηχανισμό της ίωσης και τη δράση των αντισωμάτων εναντίον του ιού. Στην ερώτηση «ποια αντικείμενα συνάντησε ο ιός από το φτάρνισμα του ενός ατόμου μέχρι την μόλυνση ενός κυττάρου στο άτομο δίπλα του;» ζητήθηκε από οι μαθήτριες και οι μαθητές να φανταστούν ότι μικραίνουν διαρκώς μέχρι να γίνουν τόσο μικρά όσο και ο ιός, να κινηθούν δίπλα-δίπλα με τον ιό, να δουν ότι 'βλέπει' και ο ιός και να κρατήσουν ατομικές σημειώσεις. Καταγράφηκαν οι αρχικές απαντήσεις των μαθητριών και των μαθητών: ιούς, μικρόβια, μόρια αέρα, κύτταρα. Ξαναπροβλήθηκε το σχετικό απόσπασμα του βίντεο καρέ-καρέ με στάση, βοηθητικές ερωτήσεις και σχόλια στα επίμαχα σημεία και η λίστα εμπλουτίστηκε μέχρι να συμπληρωθεί με αντικείμενα και από τους τέσσερις κόσμους. Σαν βάση υπήρχε έτοιμη λίστα αντικειμένων που είχε συνταχθεί κατά την προετοιμασία της διδασκαλίας. Κατά τη διάρκεια της προβολής δόθηκε έμφαση στα σημεία που δείχνουν τη δράση των αντισωμάτων και των λευκοκυττάρων και διατυπώθηκαν ερωτήσεις όπως: «ποιο είναι πιο μεγάλο, το αντίσωμα ή ο ιός;» και «ποιο είναι πιο μεγάλο, το λευκοκύτταρο ή ο ιός;». Καταγράφηκαν όλα τα αντικείμενα που εντοπίσαμε σε ασπροπίνακα που προβαλλόταν από εξωτερική κάμερα στις οθόνες των μαθητριών και των μαθητών (Εικόνα 20). Η παρουσίαση της νέας γνώσης i) για τους τέσσερις κόσμους έγινε με κριτήριο το όργανο παρατήρησης(Εικόνα 18) και ii) για τους ορισμούς για το νανόμετρο, τη νανοκλίμακα, τα νανოსωματίδια με βάση τις διαφάνειες στην Εικόνα 19.

² <https://www.youtube.com/watch?v=7Omi0IPkNpY>

Οι τέσσερις 'κόσμοι' και τα όργανα παρατήρησής τους
 Μακρόκοσμος > μικρόκοσμος > **νανόκοσμος** > ατομικός κόσμος

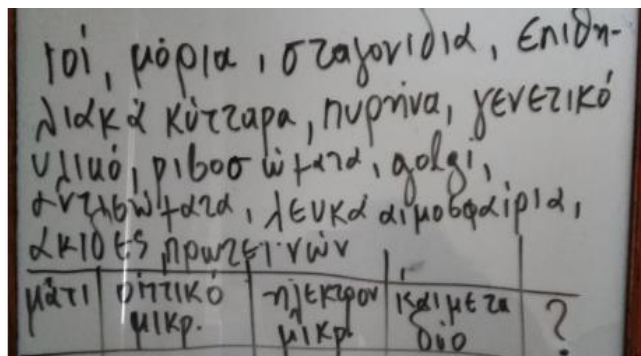


Εικόνα 18: Το σχεδιάγραμμα που χρησιμοποιήθηκε για την παρουσίαση των τεσσάρων κόσμων



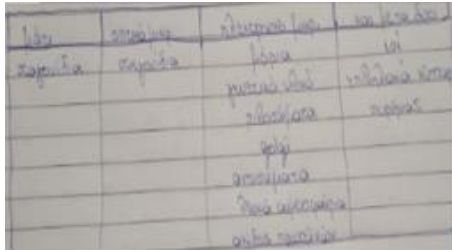
Εικόνα 19: Οι δύο διαφάνειες που χρησιμοποιήθηκαν για την εισαγωγή στους ορισμούς της NET

Ζητήθηκε από τις μαθήτριες και τους μαθητές σαν εργασία για το σπίτι να ομαδοποιήσουν τα αντικείμενα σε 4 στήλες ανάλογα με το όργανο παρατήρησής τους (Εικόνα 18) και να στείλουν ηλεκτρονικά τις εργασίες τους.

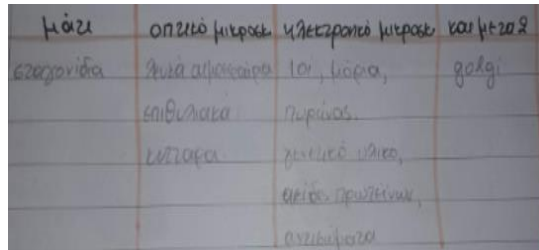


Εικόνα 20: Ο πίνακας με τα αντικείμενα που δόθηκαν για ομαδοποίηση

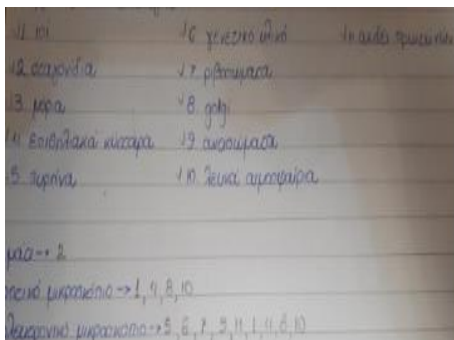
Παρακάτω στην Εικόνα 21-α,β,γ και δ φαίνονται οι απαντήσεις που έστειλαν τέσσερις μαθήτριες για την εργασία ομαδοποίησης και στην Εικόνα 22 η απάντηση που δόθηκε από τη διδάσκουσα.



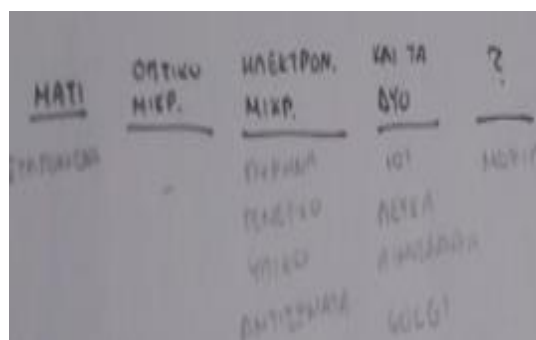
Μαθήτρια -α



Μαθήτρια -β



Μαθήτρια -γ



Μαθήτρια -δ

Εικόνα 21: Οι απαντήσεις τεσσάρων μαθητριών στην εργασία ομαδοποίησης

μάτι	Οπτικό μικροσκόπιο	Ηλεκτρονικό μικροσκόπιο	Και με τα δύο	?
Σταγονίδια μακρο	επιθηλιακά κύτταρα, ιοί(μεγάλοι), πυρήνας κυττάρου, golgi, ριβοσώματα, λευκά αιμοσφαίρια μικρο	μόρια, γενετικό υλικό, ριβοσώματα, golgi, αντισώματα, ιοί, ακίδες πρωτεϊνών νανο	ιοί, πυρήνας, ριβοσώματα, golgi	

Εικόνα 22: Η απάντηση που προβλήθηκε από τη διδάσκουσα στην ηλεκτρονική τάξη

3.2: Εφαρμογή 2^{ου} μέρους: Το φαινόμενο της σαύρας γκέκο

Στο δεύτερο δίκωρο έγινε η εισαγωγή του περιεχομένου σχετικά με την σαύρα gecko. Η πορεία της διδασκαλίας υποστηρίχτηκε από παρουσίαση που διαμοιράστηκε σε όλα οι μαθήτριες και οι μαθητές μέσω της πλατφόρμας webex σε όλη τη διάρκεια της εφαρμογής.

4^η και 5^η ώρα

Αρχικά έγινε σύντομη ανασκόπηση για τους τρεις κόσμους, τα όργανα παρατήρησης, τη νανοκλίμακα, τη NET και τα νανοσωματίδια και συζητήθηκαν οι απαντήσεις στην εργασία που είχε ανατεθεί στις μαθήτριες και οι μαθητές για το σπίτι στο προηγούμενο δίκωρο.

Πίνακας 5-β: Διδακτικοί στόχοι, περιεχόμενο και δραστηριότητες ανά διδακτική ώρα

(για το 2^ο μέρος: Το φαινόμενο της σαύρας γκέκο)

Διδακτική ώρα	Περιεχόμενο	Στόχοι	Δραστηριότητες
4 ^η	Το φαινόμενο της σαύρας γκέκο και οι δυνάμεις van der Waals. Βιομίμηση.	<ul style="list-style-type: none">• Η γνωριμία με τις ιδιότητες της σαύρας γκέκο• Η γνωριμία με τις δυνάμεις van der Waals	<ul style="list-style-type: none">• συζήτηση για αναζήτηση λύσεων για την κάλυψη πρακτικών αναγκών για ισχυρή και ασφαλή προσκόλληση• προβολή βίντεο και συμπλήρωση φ.ε.-1 για τη φύση των δυνάμεων van der Waals
5 ^η	Το φαινόμενο της σαύρας γκέκο: ιεραρχική δομή, ισχυρή προσκόλληση	<ul style="list-style-type: none">• η περιγραφή της ιεραρχικής δομής στο πέλμα της σαύρας με αναφορά στην κλίμακα για κάθε επιμέρους δομή• η ερμηνεία της ισχυρής προσκόλλησης με βάση τη μεγάλη επιφάνεια επαφής	<ul style="list-style-type: none">• προβολή βίντεο και συμπλήρωση φ.ε.-2 για την ιεραρχική δομή• προβολή βίντεο και συμπλήρωση φ.ε.-3 για την ισχυρή προσκόλληση

3.2.1: Γνωριμία με το φαινόμενο της σαύρας γκέκο

Ανακοινώθηκε το θέμα του επόμενου δώρου και τέθηκε το ερώτημα «πως θα ανέβουμε στον πεντηκοστό όροφο ενός ουρανοξύστη για να διορθώσουμε μια βλάβη;» Δύο με τρεις απαντήσεις αναφέρθηκαν σε κάποιο μηχάνημα. Καμία απάντηση δεν αναφέρθηκε σε ρομπότ που ήταν μέσα στις αναμενόμενες απαντήσεις.

Η συζήτηση στράφηκε στην ανάγκη ασφαλούς αναρρίχησης με τη διατύπωση του ερωτήματος «πως μπορούμε να πετύχουμε ισχυρή και ασφαλή προσκόλληση;» Για τη στροφή της συζήτησης στη βιομίμηση αναφέρθηκε η μίμηση της κίνησης των πουλιών στην κατασκευή αεροπλάνων και των ψαριών στην κατασκευή υποβρυχίων από τον άνθρωπο και: «Μήπως έχετε υπόψη κάποιο ζώο που σκαρφαλώνει χωρίς να πέφτει;». Αφού δεν δόθηκε κάποια σχετική απάντηση παρουσιάστηκε η σαύρα gecko. Δόθηκε έμφαση στην ιδιότητά της να προσκολλάται ισχυρά σε πολλές επιφάνειες διαφορετικής τραχύτητας. Ορίστηκε το φαινόμενο gecko και η έννοια βιομιμητισμός: οι επιστήμονες καλούνται να ερμηνεύσουν και οι τεχνολόγοι να αντιγράψουν το φαινόμενο.

Στη συνέχεια ξανατέθηκε σοι μαθήτριες και οι μαθητές η Ερώτηση 6 από το (pre)ερωτηματολόγιο : 'Πως καταφέρνουν οι σαύρες να στέκονται ανάποδα σε επιφάνειες χωρίς να πέφτουν;' ' για να δούμε τί έχετε απαντήσει...' Οι απαντήσεις που είχαν συλλεχθεί προβάλλονται ομαδοποιημένες στην Εικόνα 11-α.

Πως καταφέρνουν οι σαύρες να στέκονται ανάποδα σε επιφάνειες χωρίς να πέφτουν;

- έχουν βεντούζες
- λόγω κολλώδους/κολλητικής ουσίας που έχουν στα πόδια τους
- λόγω τριβής
- λόγω του τρόπου κατασκευής του δέρματος τους αλλά και της επιφάνειας στην οποία στέκονται



Εικόνα 23-α: Ομαδοποιημένες οι αρχικές απόψεις των μαθητριών και των μαθητών όπως καταγράφηκαν στο pre- test και χρησιμοποιήθηκαν στη διδασκαλία.

Οι μαθήτριες και οι μαθητές κλήθηκαν να δοκιμάσουν και να αναθεωρήσουν κάποιες από τις απόψεις τους στη συζήτηση που ακολούθησε με βάση τη διαφάνεια στην Εικόνα

23-α. Συζητήθηκαν μία προς μία όλες οι απόψεις. Για κάθε άποψη επιχειρηματολόγησαν αντίθετα οι μαθήτριες και οι μαθητές που είχαν απαντήσει διαφορετικά. Εύκολα απορρίφθηκε η άποψη ότι 'έχουν βεντούζες' αφού η σαύρα 'κολλάει' και στο ξύλο. Με καθοδηγούμενη/μαιευτική συζήτηση απορρίφθηκε η άποψη για την κολλώδη ουσία αφού τα πέλματα της σαύρας

Πως καταφέρνουν οι σαύρες να στέκονται ανάποδα σε επιφάνειες χωρίς να πέφτουν;

- > ~~έχουν βεντούζες~~
- > λόγω ~~κολλώδους~~/κολλητικής ουσίας που έχουν στα πόδια τους
- > λόγω ~~τριβής~~ ποιες δυνάμεις μπορεί να ευθύνονται;
- > λόγω του τρόπου κατασκευής του δέρματος τους αλλά και της επιφάνειας στην οποία στέκονται

Εικόνα 23-β: η διαφάνεια 11-α όπως έχει τροποποιηθεί μετά τη σχετική συζήτηση

ξέρουμε ότι δεν εκκρίνουν κάποια ουσία και μένουν καθαρά. Επειδή το κεφάλαιο της Τριβής δεν είχε ακόμα διδαχθεί στο μάθημα της Φυσικής έγινε παρουσίαση της δύναμης της τριβής ώστε να απορριφθεί και αυτή η άποψη. Με τη διαδικασία αυτή απορρίφθηκαν οι τρεις διαγραμμένες απόψεις στην Εικόνα 23-β. Με καθοδηγούμενη συζήτηση αναπτύχθηκε προβληματισμός για την ερμηνεία της ισορροπίας της σαύρας σύμφωνα με τον 1ο νόμο του Νεύτωνα και έτσι αναδιατυπώθηκε το ερώτημα: «ποιες δυνάμεις μπορεί να ευθύνονται» για την προσκόλληση. Στην Εικόνα 23-β φαίνεται η διαφάνεια όπως έχει προκύψει μετά την ολοκλήρωση της συζήτησης.

3.2.2: Οι δυνάμεις van der Waals και η ιεραρχική δομή

Έτσι προέκυψαν τα δύο ερωτήματα προς διερεύνηση για τη συνέχεια: α) Ποιες δυνάμεις αντισταθμίζουν το βάρος της σαύρας gecko; και β) Πως είναι δομημένη η επιφάνεια στο πέλμα της σαύρας gecko;

Για το πρώτο ερώτημα σχετικά με τη φύση των δυνάμεων ετοιμάστηκε το Φύλλο Εργασίας 1(ΦΕ-1) και για το δεύτερο ερώτημα το Φύλλο Εργασίας 2(ΦΕ-2) (βλ. ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ) . Προηγήθηκε η διατύπωση των ερωτημάτων και τελικά μοιράστηκε στις μαθήτριες και τους μαθητές το φ.ε. που φαίνεται στην Εικόνα 24. Δόθηκε

Φύλλο Εργασίας: Τι είδους δυνάμεις κρατούν τη σαύρα 'κολλημένη' στην επιφάνεια; -Γιατί και πότε εμφανίζονται;

Έχεις στη διάθεσή σου:

-ένα άρθρο με τίτλο 'Σαμιαμίδι-Μυστικά που κολλάνε':
<http://atmitos.gr/samiamidi-mistika-pou-kollane/> και

-ένα βίντεο διάρκειας 4' και 30" με τίτλο 'How do geckos defy gravity':
<https://www.youtube.com/watch?v=YeSuQm7KfaE&t=181s>

Με βάση τα παραπάνω απάντησε στα εξής ερωτήματα:

1. Πως λέγονται οι δυνάμεις που κρατούν τη σαύρα 'κολλημένη' στην επιφάνεια;
2. Μεταξύ ποιών μορίων εμφανίζονται;
3. Πότε και γιατί εμφανίζονται;
4. Να περιγράψεις σύντομα τη δομή που έχει η επιφάνεια στο πέλμα της σαύρας.



Εικόνα 24: Το συνεπτυγμένο φ.ε. όπως παρουσιάστηκε στη διδασκαλία πριν μοιραστεί

χρόνος 15-20 λεπτά και τους ζητήθηκε να στείλουν τις απαντήσεις τους σε αρχείο word. Έστειλαν απαντήσεις έξι μαθήτριες που φαίνονται παρακάτω στην Εικόνα 25.

Τα αρχεία με τις απαντήσεις δεν ανοίχτηκαν στη διάρκεια της διδασκαλίας για λόγους οικονομίας χρόνου. Οι ερωτήσεις του φύλλου εργασίας απαντήθηκαν προφορικά και ακολούθησε η παρουσίαση των δυνάμεων van der Waals ως διαμοριακές δυνάμεις που εμφανίζονται ανάμεσα σε ηλεκτρικά δίπολα μόρια όταν αυτά πλησιάσουν σε κατάλληλη απόσταση και σχετική θέση.

- 1) Λέγονται Van Der Waals και είναι διαμοριακές
- 2) Μεταξύ μορίων
- 3) Στα τριχίδια για να συγκολληθούν σε επιφάνεια
- 4) Έχει αρχικά κάποιες φυλλώδεις δομές (σαν αποτυπώματα), πιο κοντά εμφανίζονται και κάποια τριχίδια και αν έρθουμε ακόμη πιο κοντά θα δούμε και άλλες διακλαδώσεις με επιφάνεια σαν σπάτουλα που βοηθάει στην προσκόλληση και αποκόλληση

- 1) Διαμοριακές δυνάμεις (Van der Waals).
- 2) Μεταξύ μορίων.
- 3) Εμφανίζονται όταν τα μόρια του πέλματος της σαύρας πλησιάσουν τα μόρια μιας επιφάνειας και έτσι επιτρέπουν στην σαύρα να σταθεί.
- 4) Αποτελείται από σειρές από φυλλώδεις δομές που θυμίζουν κατά κάποιον τρόπο τα ανθρώπινα δαχτυλικά αποτυπώματα, ενώ με το μικροσκόπιο μπορούμε να διακρίνουμε τα τριχίδια που καταλήγουν σε σπαθοειδείς διακλαδώσεις.

1. Δυναμεις διαμοριακών δυνάμεων (Van der Waals)
2. Μεταξύ μορίων
- 3.Απο τα τριχίδια που εμφανίζονται στα πόδια της σαύρας
3. Παρατηρούμε σειρες από φυλλώδεις δομές που θυμίζουν τα ανθρώπινα αποτυπώματα. Αν χρησιμοποιήσουμε μικροσκόπιο παρατηρούμε ότι είναι τριχίδια που το καθένα από αυτά καταλήγει σε σπαθοειδής διακλαδώσεις.

1. Διαμοριακές δυνάμεις (Van der Waals)

2. Σαμιαμίδι, αράχνες, έντομα κτλ

3. εμφανίζονται στη συγκόλληση ή αποκόλληση των τριχιδίων, όταν το σώμα θέλει να «κολλήσει» ή να «ξεκολλήσει» αντίστοιχα από μια επιφάνεια

4. αποτελούνται από τριχίδια όπου το καθένα έχει ένα κύριο σώμα και καταλήγουν σε πολυάριθμες σπαθοειδείς διακλαδώσεις (η απόληξη των διακλαδώσεων έρχεται σε επαφή με την επιφάνεια)

1) Το δέρμα από τα δάχτυλα του σαμιαμιδιού χαρακτηρίζεται από μία ιεραρχικά οργανωμένη δομή. Μακροσκοπικά παρατηρούμε σειρές από φυλλώδεις δομές (*lamellas*, δηλαδή οι σαύρες έχουν μικρά τριχίδια που τους βοηθάνε να στέκονται πάνω σε επιφάνειες.

2) Εμφανίζονται μεταξύ των Τριγωνικών δομών Οι οποίες έρχονται σε επαφή με την επιφάνεια.

3)

4) παρατηρούμε ότι αυτές οι σειρές μας θυμίζουν ανθρώπινα αποτυπώματα παρατηρούμε ότι οι φυλλώδεις δομές αποτελούν συστοιχίες από τριχίδια.

Ερωτήματα

1) Σπαθοειδείς διακλαδώσεις

2)

3) όταν χρειαστεί η σαύρα να κολλήσει κάπου

4) Το πέλμα της σαύρας αποτελείται από φυλλώδεις δομές στις οποίες αν παρατηρήσουμε καλύτερα μπορούμε να δούμε τα τριχίδια τα οποία στο τέλος καταλήγουν στις σπαθοειδείς διακλαδώσεις.

Οι σαύρες μπορούν να «κολλάνε» λόγω των τριχιδίων που και αυτά μέσα τους έχουν τις σπαθοειδείς διακλαδώσεις οι οποίες βοηθάνε την σαύρα να κολλάει λόγω του βοηθητικού τους σχήματος. (Κάτι σαν σπάτουλα)

Εικόνα 25: Οι έξι απαντήσεις στο φ.ε. για τις δυνάμεις van der Waals και την ιεραρχική δομή στο φαινόμενο gecko

Για την παρουσίαση της ιεραρχικής δομής στο πέλμα της σαύρας ξαναπροβλήθηκε το κατάλληλο απόσπασμα του βίντεο: *'How do geckos defy gravity'*¹

παγώνοντας διαδοχικά τις εικόνες για κάθε δομή και σχολιάζοντας με ερωταποκρίσεις το όργανο παρατήρησης για κάθε δομή.

Η παρουσίαση της ιεραρχικής δομής ολοκληρώθηκε με τη σταδιακή συμπλήρωση του πίνακα της Εικόνας 26 σαν αποτέλεσμα συζήτησης στην ολομέλεια.

¹ <https://youtu.be/YeSuQm7KfaE>

Η ιεραρχική δομή στο πέλμα της σαύρας gecko **ΟΙ απαντήσεις**

	Όνομα δομής	Όργανο παρατήρησης	Κλίμακα/κόσμος	Αντιπροσωπευτική διάσταση
	lamellae Κορυφαγραμμές ridges	Μάτι	Μακροκλίμακα /μακρόκοσμος	
	Setae μικροτριχίδια	Οπτικό μικροσκόπιο	Μικροκλίμακα /μικρόκοσμος	
	Spatulae νανοτριχίδια	Ηλεκτρονικό μικροσκόπιο	Νανοκλίμακα /νανόκοσμος	

Εικόνα 26: Πίνακας για την παρουσίαση της ιεραρχικής δομής στο πέλμα της σαύρας

Έτσι ολοκληρώθηκε η συζήτηση για τις δυνάμεις van der waals που αντισταθμίζουν το βάρος της σαύρας και για την ιεραρχική δομή στο πέλμα της.

Για την ισχυρή προσκόλληση ετοιμάστηκε το ατομικό Φύλλο Εργασίας 3 που φαίνεται στην Εικόνα 27.

ΒΙΟΜΙΜΗΤΙΣΜΟΣ – ΦΑΙΝΟΜΕΝΟ ΣΑΥΡΑΣ GECKO

Φύλλο Εργασίας-3 : Πως οι gecko πετυχαίνουν τόσο ισχυρή προσκόλληση;

Οι δυνάμεις van der Waals μεταξύ δύο μορίων είναι εξαιρετικά ασθενείς. Όμως η gecko πετυχαίνει εξαιρετικά ισχυρή προσκόλληση. Πως γίνεται αυτό;

Από το βίντεο 'How do geckos defy gravity': <https://www.youtube.com/watch?v=YeSuQm7KfaE&t=181s> παρακολουθείστε το απόσπασμα από το 2.18 έως το 3.31 και απαντήστε στο ερώτημα.

Αναπτύξτε την απάντησή σας γύρω από τις φράσεις-κλειδιά: **επιφάνεια επαφής** και **γωνία επαφής**

Εικόνα 27: Το Φύλλο Εργασίας 3 για την ισχυρή προσκόλληση

Το φ.ε. δε δόθηκε στους μαθητές και τις μαθήτριες να το συμπληρώσουν ατομικά. Αντί αυτού συμπληρώθηκε ομαδικά με παρακολούθηση του αποσπάσματος του βίντεο που περιγράφεται στο Φύλλο Εργασίας 3, με ερωταποκρίσεις και καθοδηγούμενη συζήτηση πάνω στα επίμαχα στιγμιότυπα. Έτσι οικοδομήθηκε η απάντηση στο ερώτημα για την

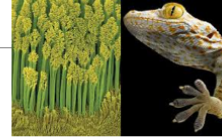
ισχυρή προσκόλληση κυρίως γύρω από την έννοια της μεγάλης επιφάνειας επαφής που οφείλεται στα πολυάριθμα νανοτριχίδια όπως φαίνεται στην Εικόνα 28

Πως οι gecko πετυχαίνουν τόσο ισχυρή προσκόλληση;

Δύο είναι οι βασικοί παράγοντες:

➤ μεγάλη **επιφάνεια επαφής** : κάθε gecko διαθέτει περίπου 2 δισεκατομμύρια νανοτριχίδια που καταλήγουν σε ισόριθμες 'σπάτουλες'.

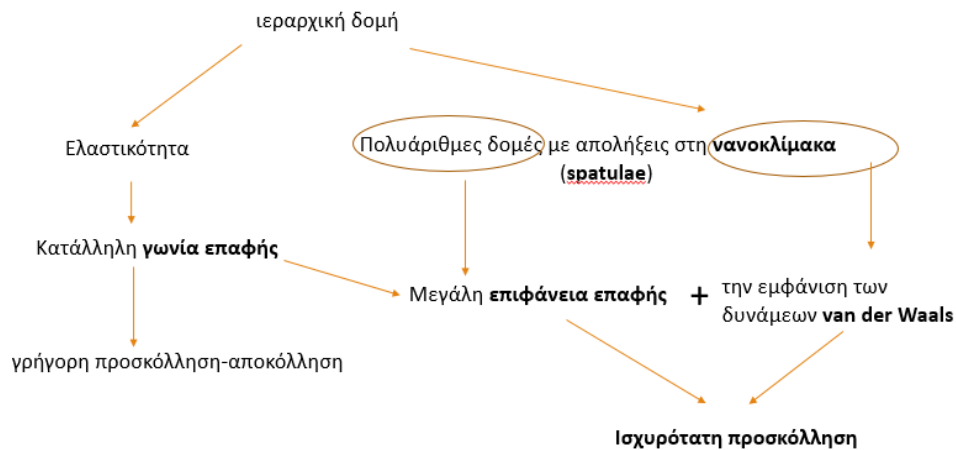
➤ Η κατάλληλη **γωνία επαφής** : Η μεγάλη ελαστικότητα στο πέλαμα της gecko της επιτρέπει να 'χτυπά' την επιφάνεια που προσκολλάται με την κατάλληλη γωνία και να μεγιστοποιεί την επιφάνεια επαφής



Και οι δύο παράγοντες οδηγούν στην εμφάνιση **πολυάριθμων δυνάμεων van der Waals** που εξασφαλίζουν μια ισχυρή συνισταμένη δύναμη συνάφειας ανάμεσα στο πέλαμα της σαύρας και στον τοίχο που εξηγεί την **ισχυρή προσκόλληση**.

Εικόνα 28: Η διαφάνεια με την απάντηση για την ισχυρή προσκόλληση

Έγινε ανακεφαλαίωση της δώρης διδασκαλίας με τη χρήση του εννοιολογικού χάρτη με τις λέξεις-κλειδιά που φαίνεται στην Εικόνα 29.



Εικόνα 29: Η διαφάνεια με τον εννοιολογικό χάρτη που σχεδιάστηκε για την ανακεφαλαίωση του δώρου για το φαινόμενο της σαύρας gecko.

Η διδασκαλία ολοκληρώθηκε με την απάντηση του αρχικού ερωτήματος «Πώς θα πετύχουμε την ισχυρή και ασφαλή προσκόλληση του ρομπότ στα τοιχώματα ενός

Βιομίμηση στο μικρόκοσμο και το νανόκοσμο

➤ Γλυκά με ανάλογη δομή ➡ **Νανοϋλικά**

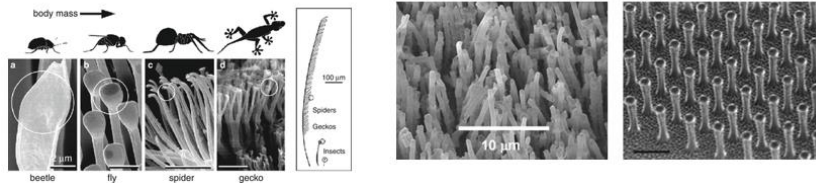
➤ Τι ιδιότητες πρέπει να έχει το υλικό για να εξασφαλίζει την ισχυρή προσκόλληση;

-Ιεραρχική δομή

-Κατάλληλες αποστάσεις των μικροδομών

-Κατάλληλες διαστάσεις και σχήμα των νανοδομών-απολήξεων

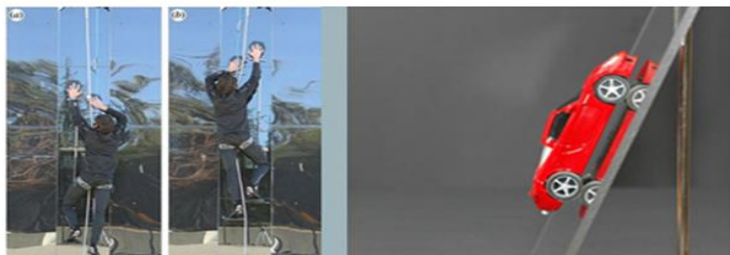
Φυσική και τεχνητή δομή όπως φαίνεται στο ηλεκτρονικό μικροσκόπιο



Εικόνα 30: Η διαφάνεια που χρησιμοποιήθηκε για τη βιομίμηση στη μικροκλίμακα και τη νανοκλίμακα

ουρανοξύστη;» από τη διδάσκουσα με αναφορά στη βιομίμηση και με τη χρήση των διαφανειών που φαίνονται στις Εικόνες 30 και 31.

Βιομίμηση στο μακρόκοσμο



<http://atmitos.gr/samiamidi-mistika-pou-kollane/>

Εικόνα 31: Η διαφάνεια που χρησιμοποιήθηκε για τη βιομίμηση στη μακροκλίμακα

Σε επόμενο χρόνο δόθηκε στις μαθήτριες και τους μαθητές εργασία για το σπίτι με τίτλο «σε ένα κείμενο 10 γραμμές το πολύ να περιγράψετε την ιεραρχική δομή στο πέλμα της σαύρας γκέκο χρησιμοποιώντας όλες τις φράσεις που βρίσκονται στον πίνακα της διαφάνειας 17». Στην Εικόνα 32 φαίνεται ενδεικτικά μια απάντηση.

Εργασία Σε ένα κείμενο 10 γραμμές το πολύ να περιγράψετε την ιεραρχική δομή στο πέλμα της σαύρας γκέκο χρησιμοποιώντας όλες τις φράσεις που βρίσκονται στον πίνακα της Διαφάνειας 16.

Μακροσκοπικά (με τα ματια μας) παρατηρούμε προσεκτικά τις κορυφογραμμές lamellae (φυλλώδεις δομές), που θυμίζουν τα ανθρώπινα δακτυλικά αποτηπώματα. Στην μικροκλίμακα, όπου μόνο με το οπτικό μικροσκόπιο μπορούμε να δούμε, παρατηρούμε οτι οι lamellae αποτελούν συστοιχίες απο μικροτριχίδια, τα setae. Παρ' όλα αυτά καθένα απο τα μικροτριχίδια αποτελείται απο τα νανοτριχίδια spatulae, τα οποία μπορούμε να δουμε με το ηλεκτρονικό μικροσκόπιο, αφού πλέον βρισκόμαστε στην νανόκλίμακα.

Εικόνα 32: Απάντηση μαθήτριας για την ιεραρχική δομή στο πέλμα της gecko

3.3: Εφαρμογή 3^{ου} μέρους: Το φαινόμενο του λωτού

Το φαινόμενο του λωτού ολοκληρώθηκε σε τρεις διδακτικές ώρες . Η πορεία της διδασκαλίας υποστηρίχτηκε από παρουσίαση powerpoint που διαμοιράστηκε σε όλες τις μαθήτριες και τους μαθητές μέσω της πλατφόρμας webex σε όλη τη διάρκεια της εφαρμογής.

Πίνακας 5-γ: Διδακτικοί στόχοι, περιεχόμενο και δραστηριότητες ανά διδακτική ώρα
(για το 3^ο μέρος: Το φαινόμενο του λωτού, ναυούλικά και συμπλήρωση post test)

Διδακτική ώρα	Περιεχόμενο	Στόχοι	Δραστηριότητες
6 ^η	Το φαινόμενο του λωτού. Υπερυδρόφοβα και αυτοκαθαριζόμενα υλικά.	<ul style="list-style-type: none"> •Η γνωριμία με τις ιδιότητες των φύλλων του λωτού •Βασικές ποιοτικές πλευρές των ορισμών για την υπερυδροφοβικότητα και τον αυτοκαθαρισμό 	<ul style="list-style-type: none"> •συζήτηση-αναζήτηση λύσεων για την κάλυψη πρακτικών αναγκών σε υπερυδρόφοβα, αυτοκαθαριζόμενα υλικά •προβολή διαφανειών για παρατήρηση και περιγραφή εικόνων (φωτογραφίες και μοντέλα) για αυτοκαθαρισμό και υδροφοβικότητα
7 ^η	Το φαινόμενο του λωτού: ιεραρχική δομή, ελάχιστη προσκόλληση	<ul style="list-style-type: none"> •Η ελάχιστη προσκόλληση σαν αποτέλεσμα της ιεραρχικής δομής •Η περιγραφή της ιεραρχικής δομής στο πέλημα της σαύρας με βάση τις διαστάσεις και το όργανο παρατήρησης 	<ul style="list-style-type: none"> • συμπλήρωση φ.ε.-1 για την προσκόλληση σταγόνας νερού σε διάφορες επιφάνειες ως αποτέλεσμα της δομής των φύλλων του λωτού. •προβολή βίντεο για συμπλήρωση φ.ε.-2 για ιεραρχική δομή της επιφάνειας στα φύλλα του λωτού με βάση τις διαστάσεις και το όργανο παρατήρησης κάθε δομής
8 ^η	Αυτοκαθαρισμός και προσκόλληση. Βιομίμηση στο μακρόκοσμο, το μικρόκοσμο και το νανόκοσμο.	<ul style="list-style-type: none"> •Η ερμηνεία του αυτοκαθαρισμού ως συνέπεια του βαθμού προσκόλλησης λόγω των δυνάμεων van der Waals •Για την αντιγραφή ιδιοτήτων από τη φύση αντιγράφουμε δομές από τη φύση 	<ul style="list-style-type: none"> •προβολή διαφανειών και βίντεο για τη συμπλήρωση του φ.ε.-3 για τον αυτοκαθαρισμό ως συνέπεια της προσκόλλησης λόγω των δυνάμεων van der Waals •προβολή διαφανειών και σχολιασμός εικόνων βιομίμησης με ερωταποκρίσεις
9 ^η	Ερωτηματολογία τελικής μέτρησης (post)	<ul style="list-style-type: none"> •Η καταγραφή των ιδεών των μαθητών και μαθητριών εκ νέου 	<ul style="list-style-type: none"> •Συμπλήρωση και αποστολή του ερωτηματολογίου σε φόρμα της google

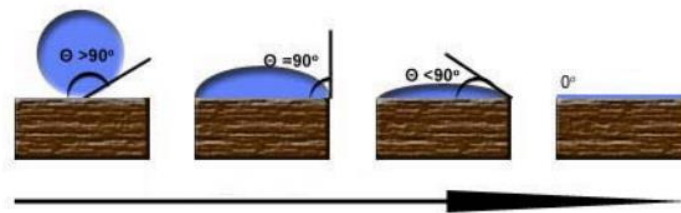
6^η ώρα

Έγινε ανασκόπηση του προηγούμενου μαθήματος με κεντρικές έννοιες τις δυνάμεις van der Waals, την ιεραρχική δομή στο πέλμα της γκέκο και την επιφάνεια επαφής με έμφαση στην περιοχή 1-100nm για τη Νανοτεχνολογία. Ανακοινώθηκε ότι το θέμα του επόμενου δώρου θα είναι το φαινόμενο του λωτού. Διατυπώθηκε το ερώτημα «Τι ιδιότητες θα έπρεπε να έχει το τζάμι στο παρμπρίζ του αυτοκινήτου για να μη χρειαζόμαστε τους υαλοκαθαριστήρες;». Με σύντομη καθοδηγούμενη συζήτηση οι μαθήτριες και οι μαθητές παρουσίασαν τις επιθυμητές ιδιότητες. Τότε διατυπώθηκε ρητά σε διαφάνεια ότι «*Στη γλώσσα της επιστήμης τέτοια υλικά λέγονται **υπερ-υδρόφοβα και αυτοκαθαριζόμενα***». Ακολούθησε το ερώτημα «Ποιοι παράγοντες νομίζετε ότι παίζουν ρόλο στην κατασκευή ενός τέτοιου παρμπρίζ;» και η εισαγωγική φάση ολοκληρώθηκε με τη διατύπωση του πρακτικού προβλήματος που έχουν να λύσουν οι τεχνολόγοι με τη βοήθεια της επιστήμης: Να κατασκευάσουν ένα παρμπρίζ με τέτοια **δομή επιφάνειας** που για **ορισμένη γωνία κλίσης** να είναι **σούπερ –υδρόφοβο** και **αυτοκαθαριζόμενο**. Στην ερώτηση «Γνωρίζετε κάποια τέτοια υλικά από την εμπειρία σας;» δε δόθηκε καμία απάντηση και μόνο όταν έγινε αναφορά στο λάχανο και το μπρόκολο από τη διδάσκουσα δύο παιδιά απάντησαν ότι έχουν ανάλογη εμπειρία. Παρουσιάστηκε το φυτό του λωτού με έμφαση στις ιδιότητες της υπερυδροφοβικότητας και του αυτοκαθαρισμού και ορίστηκε το φαινόμενο του λωτού.

3.3.1: Για την υδροφοβικότητα

Τέθηκε το ερώτημα «Τι μπορεί να συμβεί σε μια σταγόνα νερού όταν θα χτυπήσει πάνω σε μια επιφάνεια;». Οι μαθήτριες και οι μαθητές δυσκολεύτηκαν να ανταποκριθούν στο νόημα της ερώτησης ή πιθανόν και να βρουν τις κατάλληλες εκφράσεις για να περιγράψουν τη σκέψη τους ακόμα και όταν δόθηκαν τα σκίτσα της Εικόνας 33.

Παρουσιάστηκαν τα τρία ενδεχόμενα για τη σταγόνα η οποία μπορεί (α) να αναπηδήσει, (β) να εξαπλωθεί ή (γ) να κολλήσει. Στο σημείο αυτό τονίστηκε ότι ένα σημαντικό φαινόμενο που σχετίζεται με τη συμπεριφορά των υλικών στη διαβροχή είναι η αναπήδηση (bouncing) των σταγόνων. Δόθηκαν δύο μέθοδοι για να χαρακτηρίσουμε μια επιφάνεια υπερ-υδρόφοβη. Η πιο απλή, ποιοτική, μέθοδος είναι να παρατηρήσουμε τη



Εικόνα 33: Τα σκίτσα που χρησιμοποιήθηκαν για τα πιθανά σχήματα που μπορεί να πάρει μια σταγόνα νερού που χτυπά σε μια επιφάνεια

μορφή της σταγόνας με το μάτι: «οι σταγόνες φαίνονται ολοστρογγυλες σαν πέρλες και κατακυλάνε με την παραμικρή κλίση της επιφάνειας». Μια πιο αυστηρή ποσοτική μέθοδος είναι η μέτρηση της γωνίας επαφής όπως την έχουν ορίσει οι επιστήμονες. Με κριτήριο αυτή τη γωνία επαφής τα υλικά ταξινομούνται σε υπερυδρόφοβα, υδρόφοβα, υδρόφιλα, υπερυδρόφιλα. Εδώ δείχτηκε το σχήμα χωρίς να εξηγηθεί πως ορίζεται η γωνία επαφής.

Επιπλέον επιχειρήθηκε με ερωταποκρίσεις να συσχετίσουν οι μαθήτριες και οι μαθητές το σχήμα της σταγόνας με το βαθμό προσκόλλησής και το βαθμό προσκόλλησης της σταγόνας με την υδροφοβικότητα της επιφάνειας.

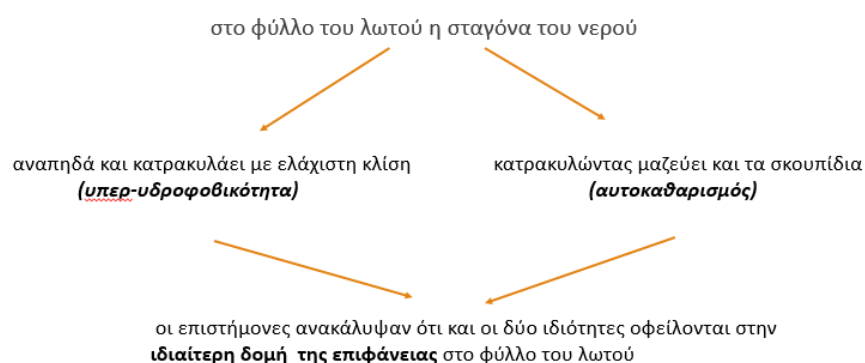
3.3.2: Για τον αυτοκαθαρισμό

Η έννοια του αυτοκαθαρισμού προσεγγίστηκε με τις φωτογραφίες που φαίνονται στην Εικόνα 34.



Εικόνα 34: Οι εικόνες που χρησιμοποιήθηκαν για τον αυτοκαθαρισμό στο φύλλο του λωτού

Ρωτήθηκαν οι μαθήτριες και οι μαθητές τι βλέπουν στην κάθε εικόνα. Επίσης ρωτήθηκαν με ποιο όργανο παρατήρησης βλέπουμε την κάθε εικόνα. Ακολούθησε σύνοψη για το φαινόμενο του λωτού με βάση το διάγραμμα της Εικόνας 35.

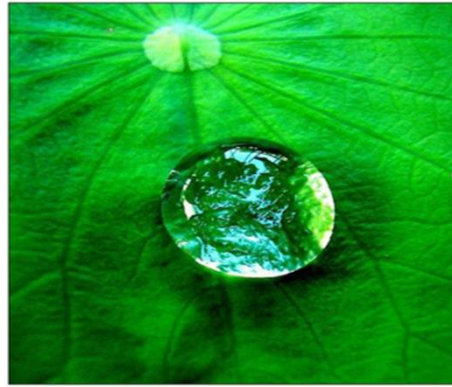


Εικόνα 35: Το διάγραμμα που σχεδιάστηκε και χρησιμοποιήθηκε για την συνοπτική παρουσίαση του φαινομένου του λωτού και τη σύνδεσή του με τη δομή της επιφάνειας του φύλλου.

7^η ώρα

3.3.3: Για τη δομή στο φύλλο του λωτού

Ζητήθηκε από τις μαθήτριες και τους μαθητές να παρατηρήσουν προσεκτικά τη φωτογραφία που φαίνεται στην Εικόνα 36 και να απαντήσουν στην ερώτηση «Γιατί η σταγόνα έχει σχήμα σφαιρικό;». Διατυπώθηκαν τέσσερις απαντήσεις: «λόγω της υφής του φύλλου», «γιατί είναι κάτι σαν αδιάβροχο», «γιατί οι σταγόνες ενώνονται και όσο ενώνονται τόσο γίνεται πιο στρογγυλό» και «γιατί το φύλλο είναι σαν βελούδο που έχει τριχούλες...». Σχολιάστηκε θετικά από τη διδάσκουσα η απάντηση για την τάση που έχει από μόνη της η σταγόνα να είναι σφαιρική με απλή αναφορά στην επιφανειακή τάση. Ζητήθηκε από οι μαθήτριες και οι μαθητές να περιορίσουν την



"Water drop on a leaf", από
AaronΥ διαθέσιμο με άδεια CC
BY 2.0

21

Εικόνα 36: Η εικόνα που χρησιμοποιήθηκε για να παρατηρήσουν και να ερμηνεύσουν οι μαθήτριες και οι μαθητές το σφαιρικό σχήμα της σταγόνας. Διακρίνονται λεπτομέρειες στο ανάγλυφο της επιφάνειας του φύλλου.

προσοχή τους στο ρόλο της επιφάνειας του φύλλου. Τέθηκε το ερώτημα:

-Πως νομίζετε ότι είναι φτιαγμένη η επιφάνεια στο φύλλο του λωτού;

Για τη διατύπωση περισσότερων υποθέσεων τέθηκαν επιπλέον ερωτήσεις όπως:

-Τι λεπτομέρειες μπορείτε να δείτε στην επιφάνεια του φύλλου της φωτογραφίας με γυμνό μάτι; Είναι λείο;

-Τι νομίζετε θα βλέπατε με ένα μεγεθυντικό φακό;

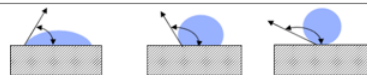
Μια μαθήτρια απάντησε ότι «μάλλον η επιφάνεια θα είναι καμπυλωτή».

Για την προσέγγιση της επιφανειακής δομής του φύλλου και τη συσχέτισή της με το βαθμό προσκόλλησης της σταγόνας ετοιμάστηκε το Φύλλο Εργασίας 1 (βλ. Παράρτημα).

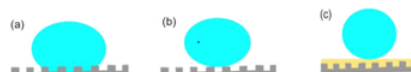
Συμπληρώθηκε από κοινού στην τάξη με τη διδάσκουσα σε υποβοηθητικό ρόλο. Τα επτά ερωτήματα του φ.ε. (Εικόνα 37) απαντήθηκαν προφορικά. Κρατήθηκαν σημειώσεις με τις απαντήσεις των μαθητριών και των μαθητών.

Φύλλο Εργασίας 1: Η προσκόλληση της σταγόνας νερού σε διάφορες επιφάνειες μέσα από επιστημονικά μοντέλα

1. Σε ποια από τις 3 επιφάνειες έχουμε τη μικρότερη προσκόλληση της σταγόνας; Γιατί;



2. Παρατηρήστε τώρα το παρακάτω σχήμα. Ποια η βασική διαφορά του από το προηγούμενο σχήμα;



3. Παρατηρούμε προσεκτικά και γράφουμε σε τι διαφέρουν το σχήμα (a) από το (b);
4. Παρατηρούμε προσεκτικά και γράφουμε σε τι διαφέρουν το σχήμα (b) από το (c);
5. Τι συμπέρασμα βγάξετε για την προσκόλληση της σταγόνας στις (a), (b), (c) επιφάνειες;
6. Αν αρχίσουμε να δίνουμε κλίση στις επιφάνειες σε ποια περίπτωση η σταγόνα θα καταρρακλήσει ευκολότερα; Γιατί;
7. Ποιο θεωρείτε πιο πιθανό να περιγράψει την επιφάνεια του λωτού; Γιατί;

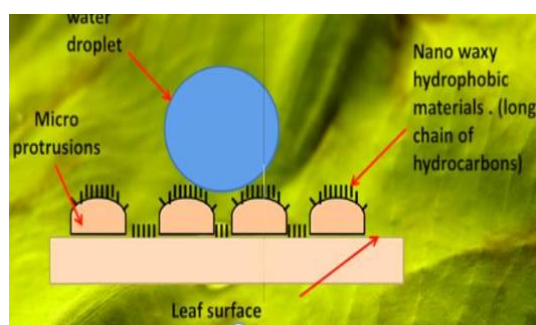
Εικόνα 37: Η διαφάνεια με την αλληλουχία ερωτημάτων και μοντέλων που χρησιμοποιήθηκαν για τη σταδιακή προσέγγιση της δομής στην επιφάνεια του φύλλου του λωτού

Στην ερώτηση 1 τέσσερα άτομα απάντησαν ότι στο τρίτο σχήμα έχουμε τη μικρότερη προσκόλληση «γιατί η σταγόνα μένει στρογγυλή». Παρά τις υποβοηθητικές ερωτήσεις και την παρακίνηση δε δόθηκε ουσιαστικά καμία απάντηση στις ερωτήσεις 2 και 3. Στην ερώτηση 4 μια απάντηση ήταν «λες και έχει πέσει κάτι» και μια άλλη «η σταγόνα είναι πιο στρογγυλή». Στην ερώτηση 5 μια μαθήτρια συγκρίνει την προσκόλληση ανάμεσα στις περιπτώσεις (b) και (c) και λέει ότι στην (b) έχουμε μεγαλύτερη προσκόλληση «γιατί ακουμπάει ενώ υπάρχουν κενά και στην άλλη δεν ακουμπάει» και ξεκαθάρισε ότι στην περίπτωση (c) η μπλε σταγόνα δεν ακουμπάει τις γκρι προεξοχές. Η διδάσκουσα ενίσχυσε την απάντηση :

-δηλαδή η επιφάνεια (c) είναι σα να έχει αλλάξει ...με τα κενά να έχουν γεμίσει από μια άλλη ουσία;»

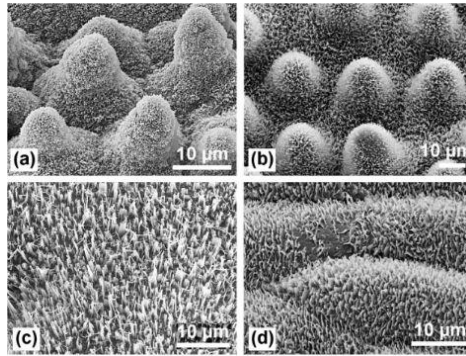
και δύο μαθήτριες συμφώνησαν. Στην ερώτηση 6 απαντούν στη (c) «αφού η σταγόνα σχεδόν αναπηδά» και «αφού δεν έχει καθόλου προσκόλληση». Για την ερώτηση 7 διατυπώθηκε η άποψη ότι το σκίτσο (c) είναι αυτό που μπορεί να περιγράψει την επιφάνεια στο φύλλο του λωτού.

Παρουσιάστηκε η δομή της επιφάνειας με τη χρήση του λεπτομερέστερου μοντέλου της Εικόνας 38. Φαίνονται τα νανοτριχίδια της επίστρωσης του κεριού και η μη επαφή της



Εικόνα 38: μοντέλο για τη δομή της επιφάνειας στο φύλλο του λωτού. Η σταγόνα του νερού είναι σα να είναι στον αέρα.

σταγόνas με τις μικροδομές του φύλλου. Επιπλέον σχολιάστηκαν αναλυτικά εικόνες μικροσκοπιών με διαδοχικές μεγεθύνσεις με έμφαση στην ιεραρχική δομή. (Εικόνα 39)



Εικόνα 39: Οι εικόνες με τις διαδοχικές μεγεθύνσεις των προεξοχών που χρησιμοποιήθηκαν για την περιγραφή της ιεραρχικής δομής στο φύλλο του λωτού

-στα (a), (b) φαίνονται οι **μικρο-προεξοχές** (μικρο-εξογκώματα)

-στα (c), (d) διακρίνονται οι **νανο-προεξοχές** (νανο-τριχίδια) από την επίστρωση του κεριού

Τέλος προβλήθηκε το βίντεο «Zoom into a lotus leaf»¹ και δόθηκε σαν εργασία εμπέδωσης για το σπίτι η συμπλήρωση του Φύλλου Εργασίας 2 για την ιεραρχική δομή στο φύλλο του λωτού (βλ. Παράρτημα)

8^η ώρα


3.3.4: Αυτοκαθαρισμός και προσκόλληση

Για το μηχανισμό του αυτοκαθαρισμού στο φύλλο του λωτού ετοιμάστηκε το Φύλλο Εργασίας 3 που φαίνεται στην Εικόνα 40 (βλ. και Παράρτημα)

¹<https://www.youtube.com/watch?v=X9a6LjCprC8>

Φύλλο Εργασίας 3: αυτοκαθαρισμός και προσκόλληση (το συμπληρώνουμε ατομικά και στέλνουμε το αρχείο)

1. Γράψτε ένα μικρό κείμενο το πολύ 8-10 γραμμές σχετικά με ότι βλέπετε στα παρακάτω
2. Στο σχήμα (β) νομίζετε ότι οι δυνάμεις van der Waals είναι πιο αποτελεσματικές:
 - i. Ανάμεσα στα σκουπιδάκια και τη σταγόνα;
 - ii. Ανάμεσα στα σκουπιδάκια και την επιφάνεια του φύλλου;
 - iii. Ανάμεσα στη σταγόνα και τις νανοπροεξοχές στο φύλλο του λωτού;Αιτιολογήστε την απάντησή σας



(α) με γυμνό μάτι

(β) με επιστημονικό μοντέλο

(γ) με το μικροσκόπιο

Εικόνα 40: Το φ.ε. 3 για μια πρώτη προσέγγιση του μηχανισμού αυτοκαθαρισμού στο φύλλο του λωτού

Προβλήθηκε επανειλημμένα το πολύ σύντομο βίντεο «Lotus Effect»² στο (γ) που δείχνει πως κολλάνε τα σκουπιδάκια στη σταγόνα που κατρακυλάει πάνω στη δομή του φύλλου. Δόθηκαν έως και δέκα λεπτά σοι μαθήτριες και οι μαθητές για να συμπληρώσουν το φύλλο εργασίας. Έστειλαν ηλεκτρονικά τις απαντήσεις τους δεκαπέντε μαθητές και μαθήτριες. Χωρίς να παρουσιαστούν οι απαντήσεις συμπληρώσαμε και προφορικά από κοινού το Φύλλο Εργασίας. Μετά το τέλος της διδασκαλίας ανοίχτηκαν τα αρχεία. Διαπιστώθηκε ότι οι περισσότερες απαντήσεις δεν εστίασαν ούτε αναφέρθηκαν στον (αυτο)καθαρισμό αλλά στο σχήμα της σταγόνας. Αρκετές αναφέρθηκαν μόνο στο όργανο παρατήρησης. Η δραστηριότητα έκλεισε με την εξής σύνοψη:

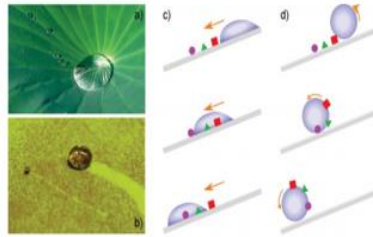
- τα μικρά σκουπιδάκια **προσκολλώνται** στην απόλυτα σφαιρική σταγόνα όταν κυλάει στο φύλλο του λωτού
- η σταγόνα δεν προσκολλάται (σχεδόν) καθόλου στην επιφάνεια του φύλλου και αυτό διευκολύνει την κίνησή της με αναπήδηση ακόμα και σε επιφάνειες με σχεδόν μηδενική κλίση
- στην επιφάνεια του φύλλου του λωτού τα σκουπιδάκια σκόνης 'κολλάνε' περισσότερο στην υγρή σταγόνα απ' ότι στην επιφάνεια του φύλλου (Εικόνα 41)
- για τους λόγους αυτούς οι σφαιρικές σταγόνες νερού παρασύρουν τα σωματίδια σκόνης καθώς κυλούν πάνω στην επιφάνεια του φύλλου και έτσι επιτυγχάνεται ο αυτοκαθαρισμός

² https://www.youtube.com/watch?v=__O6vrVbXI

- κάτι τέτοιο μπορεί να συμβαίνει μόνο στα υπερυδρόφοβα υλικά και όλο αυτό εξηγεί το φαινόμενο του λωτού(βλ. διαφάνεια στην Εικόνα 41)

αυτοκαθαρισμός και προσκόλληση

Μόνο στα
υπερυδρόφοβα υλικά
έχουμε αυτοκαθαρισμό



Εικόνα 6. Συμπεριφορά μιας σταγόνας πάνω στο φύλλο του λωτού στην φύση a) & b) και σχηματικά c) & d), για να αναδειχθούν οι ιδιότητες αυτοκαθαρισμού. (όπου, c) υδρόφοβη επιφάνεια και d) υπερυδρόφοβη επιφάνεια)

Εικόνα 41: Η διαφάνεια που χρησιμοποιήθηκε στη σύνοψη για το φαινόμενο του λωτού με έμφαση στην προσκόλληση

3.3.5: Βιομίμηση-Νανοϋλικά

Επαναδιατυπώθηκε το αρχικό πρακτικό ερώτημα για την κατασκευή αυτοκαθαριζόμενων και υπερυδρόφοβων παρμπρίζ. Τέθηκε το ερώτημα:

-Πως θα μιμηθούμε τη φύση;

Προβλήθηκαν τρία μικρής διάρκειας βίντεο: ένα με αναπήδηση σταγόνων δυνατής βροχής πάνω σε φύλλο λωτού¹, ένα με τίτλο «Κάνουμε τα τζάμια σας αυτοκαθαριζόμενα»² και ένα με επίδειξη δοκιμής αναπήδησης σταγόνων πάνω σε τεχνητό υπερυδρόφοβο υλικό³.

Μέσα από εικόνες μοντέλων περιγράφηκε συνοπτικά η διαδικασία βιομίμησης(Εικόνα 42) για την κατασκευή υπερυδρόφοβων και αυτοκαθαριζόμενων επιφανειών με σκοπό να αναπαράγει η Νανοτεχνολογία το φαινόμενο του λωτού για να καλύψει καθημερινές ανάγκες.

¹ <https://www.youtube.com/watch?v=0-oLTinpSTk>

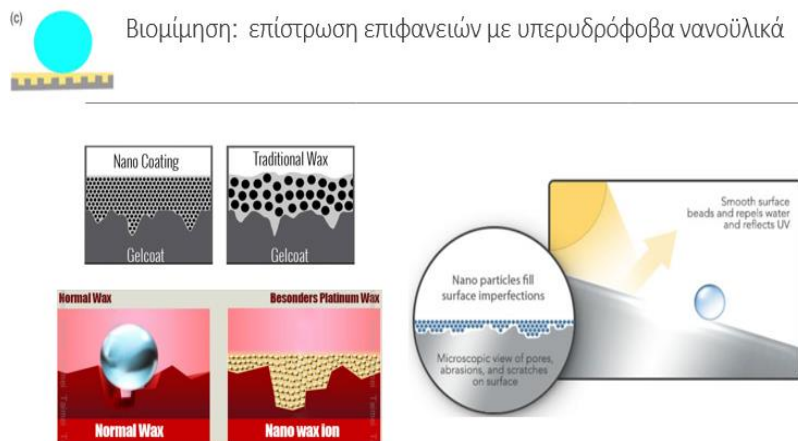
² https://www.youtube.com/watch?v=I7feQbuK_Yo

³ <https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/f/f4/Hydrophoby2.webm>



Εικόνα 42: Η εικόνα που χρησιμοποιήθηκε για τη διαδικασία βιομίμησης στην κατασκευή νανοϋλικών

Ρωτήθηκαν οι μαθήτριες και οι μαθητές εάν έχουν υπόψη τους εφαρμογές με νανοϋλικά. Έγινε σύντομη αναφορά σε μερικές εφαρμογές επίστρωσης επιφανειών με νανοϋλικά όπως π.χ. η επένδυση επιφάνειας αυτοκινήτου με κεριά νανοτεχνολογίας ή σπρέϊ αδιαβροχοποίησης και αυτοκαθαρισμού παπουτσιών με βάση τη διαφάνεια της Εικόνας 43.



Εικόνα 43: Η διαφάνεια που χρησιμοποιήθηκε για το παράδειγμα Νανοεπίστρωσης (nanocoating) με στόχο την κατασκευή αυτοκαθαριζόμενων και υπερυδρόφοβων επιφανειών

3.4: Ανακεφαλαίωση

Έγινε ανακεφαλαίωση του τρίωρου για το φαινόμενο του λωτού με βάση τις παρακάτω ερωτήσεις:

- Γιατί η σταγόνα είναι σφαιρική;
- Πως είναι φτιαγμένη η επιφάνεια στο φύλλο του λωτού;
- Που οφείλεται η υδροφοβικότητα της επιφάνειας του λωτού;
- Τι ρόλο παίζει η προσκόλληση στον αυτοκαθαρισμό του λωτού;

Οι ερωτήσεις δόθηκαν και σαν εργασία για το σπίτι.

Η σειρά μαθημάτων ολοκληρώθηκε α) με την ανάδειξη της **προσκόλλησης λόγω των δυνάμεων van der Waals** ως το βασικό μηχανισμό που ερμηνεύει και τα δύο φαινόμενα:

το φαινόμενο της γκέκο σαν αποτέλεσμα ισχυρότατης προσκόλλησης

το φαινόμενο του λωτού σαν αποτέλεσμα

-ελάχιστης ή καθόλου προσκόλλησης της σταγόνας στο φύλλο ταυτόχρονα με

-ισχυρή προσκόλληση των σκουπιδιών στη σταγόνα

και β) με την ανάδειξη της **ιεραρχικής δομής** (μαζί με άλλες παραμέτρους) ως απαραίτητη προϋπόθεση και στις δύο περιπτώσεις.

9^η ώρα

Έγινε η συμπλήρωση του ερωτηματολογίου τελικής μέτρησης

ΚΕΦ.4: Αποτελέσματα Εφαρμογής

4.1: Γενικά

Στο κεφάλαιο αυτό παρουσιάζονται τα αποτελέσματα από την σύγκριση των αρχικών και τελικών ερωτηματολογίων σχετικά με την εξέλιξη των αντιλήψεων των μαθητριών και των μαθητών για τις εισαγωγικές έννοιες της NET, το μέγεθος και την κλίμακα, το φαινόμενο γκέκο και το φαινόμενο του λωτού .

4.2: Η παρουσίαση των αποτελεσμάτων

Παρουσιάζονται παρακάτω τα αποτελέσματα ανά ερευνητικό ερώτημα με τα αντίστοιχα γραφήματα. Η ταξινόμηση των απαντήσεων στις ερωτήσεις 4, 6 και 9 του ερωτηματολογίου (βλέπε Παράρτημα) έγινε με βάση τα Επίπεδα Κατανόησης όπως περιγράψαμε προηγουμένως στην παράγραφο 2.4.2.

4.2.1: Πώς νοηματοδοτούν τον όρο «Νανοτεχνολογία» οι μαθήτριες και οι μαθητές

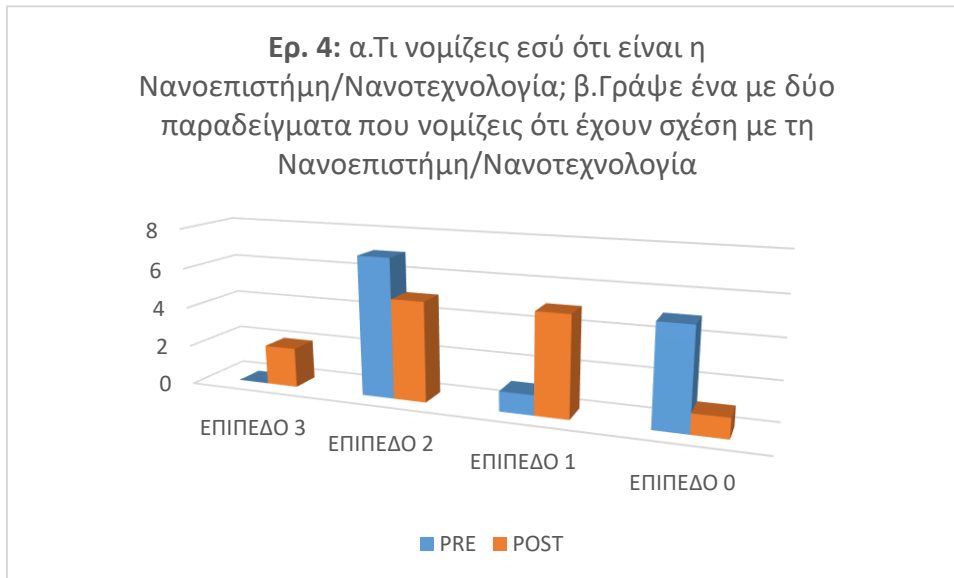
Στο Γράφημα 1 φαίνεται πως νοηματοδοτούν τον όρο Νανοτεχνολογία οι μαθήτριες και οι μαθητές πριν και μετά την εφαρμογή της ΔΜΣ. Βλέπουμε ότι οι απαντήσεις στην Ερ. 4 για το Ε3 από 0 αυξήθηκαν σε 2. Για το Ε2 από 7 μειώθηκαν σε 5. Για το Ε1 από 1 αυξήθηκαν σε 5 και για το Ε0 μειώθηκαν από 5 σε 1.

Παρατηρούμε ότι πριν την εφαρμογή δεν έχουμε καμία σωστή απάντηση και υπάρχουν αρκετές απαντήσεις στο επίπεδο 0 ενώ μετά την εφαρμογή εμφανίζονται 2 σωστές απαντήσεις στο επίπεδο 3 και μειώνονται οι απαντήσεις στο επίπεδο 0. Σαν πρώτο συμπέρασμα η μετατόπιση των απόψεων δείχνει μια πρώτη βελτίωση από την άλλη παρατηρούμε αύξηση των απαντήσεων στο επίπεδο 1. Δίνονται ενδεικτικά μερικές αυτούσιες απαντήσεις μετά την εφαρμογή:

Ε3 : «Νάνοεπιστημη: Η επιστήμη που μελετά φαινόμενα στην κλίμακα 1 έως 100 αντίμετρα. νανοτεχνολογία: αυτή που δημιουργεί και χρησιμοποιεί λειτουργικές δομές στην κλίμακα αυτή. Β. Νανοτριχίδια, ιοί»

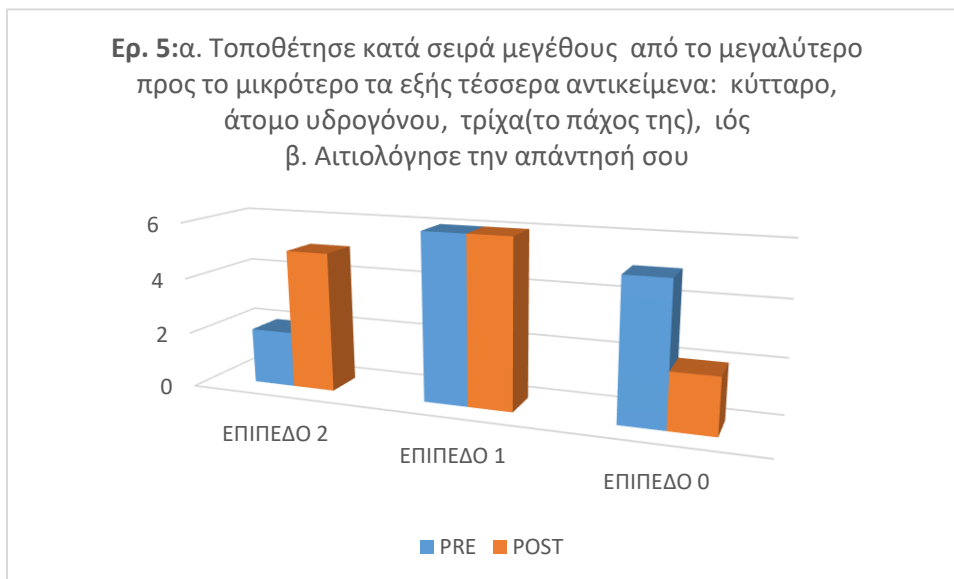
Ε2: «Μια επιστημη που ασχολειται με τις μοναδες του νανομετρου σε μικροτερα σωματιδια οπως ιους,βακτηρια κτλ»

Ε1: «Η επιστήμη που μελετάει μικροσκοπικά σωματίδια/συστήματα»



Γράφημα1: Η νοηματοδότηση της NET από τις μαθήτριες και τους μαθητές πριν(PRE) και μετά(POST) τη διδασκαλία

4.2.2: Αποτελέσματα για την κατανόηση του μεγέθους και της κλίμακας



Γράφημα 2: Επίπεδα κατανόησης ποιοτικής σχεσιακής αντίληψης-μεγέθους

Στο Γράφημα 2 για την Ερώτηση 5 βλέπουμε ότι για το E2 οι απαντήσεις από 2 αυξήθηκαν σε 5. Για το E0 από 5 μειώθηκαν σε 2. Για το E1 δεν έχουμε μεταβολή στον αριθμό των απαντήσεων. Παρατηρείται μετατόπιση 3 απαντήσεων από την άγνοια στο επίπεδο 2. Αυτό δείχνει μια βελτίωση όμως μένουν αμετάβλητες σε αριθμό οι απαντήσεις στο E1.

4.2.3: Αποτελέσματα για το φαινόμενο της σαύρας γκέκο

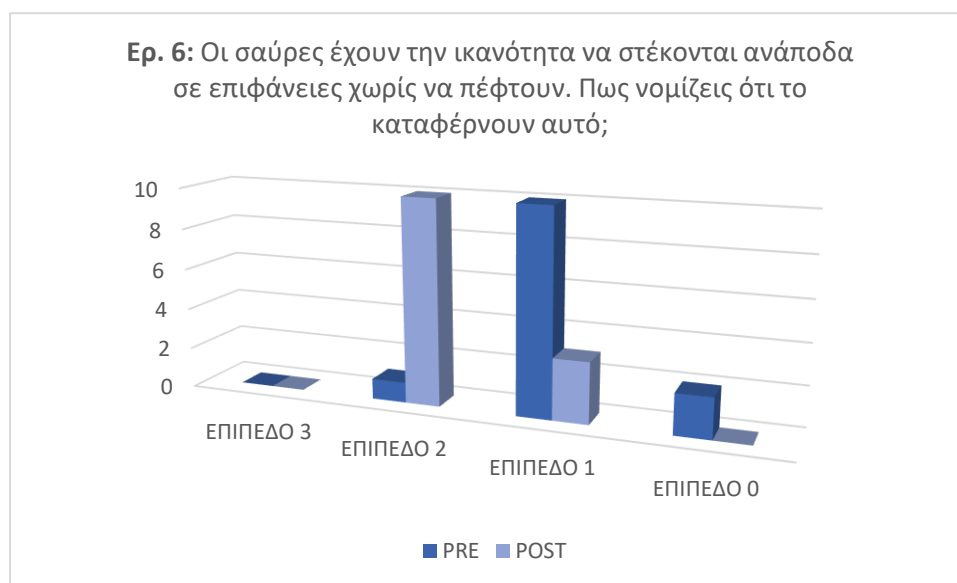
Στο Γράφημα 3 για την Ερώτηση 6 βλέπουμε ότι για το E3 δεν υπάρχει καμία απάντηση ούτε πριν ούτε μετά τη διδασκαλία. Για το E2 οι απαντήσεις αυξήθηκαν από 1 σε 10. Για το E1 οι απαντήσεις μειώθηκαν από 10 σε 3. Για το E0 από 2 μειώθηκαν σε 0.

Παρατηρούμε σημαντική μετατόπιση των απαντήσεων από τα E0 και E1 προς το E2 και αυτό δείχνει σαφή βελτίωση των απόψεων των μαθητριών και των μαθητών παρ' όλα αυτά δε δόθηκε καμία ολοκληρωμένη απάντηση. Αυτή η επισήμανση δημιουργεί προβληματισμό. Δίνονται ενδεικτικά μερικές αυτούσιες απαντήσεις μετά την εφαρμογή:
E2 : «Αυτό οφείλεται στην δομή που έχει το πέλμα τους. Έτσι ασκούνται δυνάμεις Van der Waals αναμεσά στην σαύρα και στην επιφάνεια.»

E2: «Με την βοήθεια των τριχιδίων τους και τις δυνάμεις βαν ντερ βαλς»

E1: «Θεωρώ πως οι σαύρες βεντουζωνουν στις επιφάνειες»

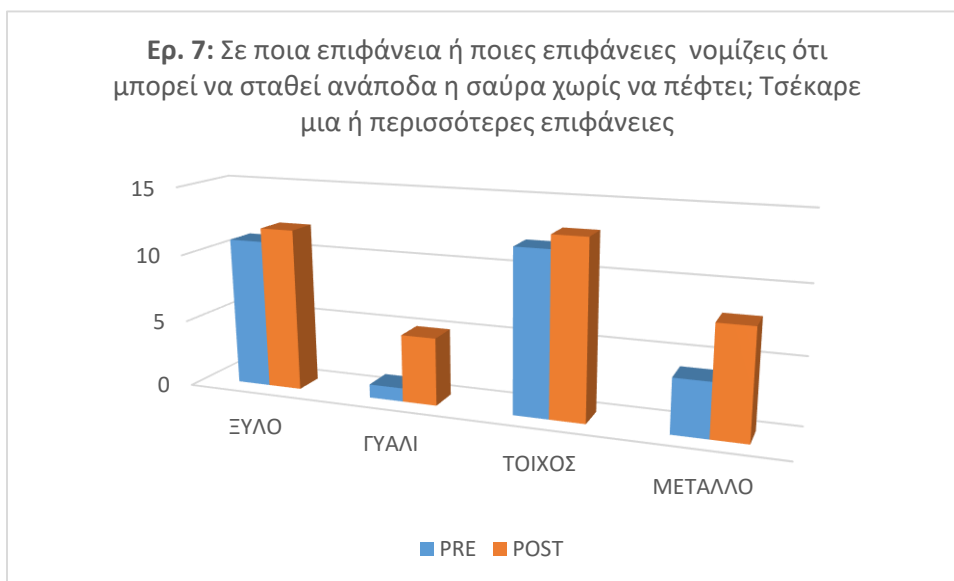
E1: «δημιουργείται τριβή από τις τρίχες που έχουν με την επιφάνεια»



Γράφημα 3: Αποτελέσματα για το φαινόμενο της σαύρας Γκέκο

Στο Γράφημα 4 για την Ερώτηση 7 για την επιφάνεια του ξύλου οι απαντήσεις από 11 αυξήθηκαν σε 12. Για την επιφάνεια του γυαλιού αυξήθηκαν από 1 σε 5. Για την επιφάνεια του τοίχου από 12 σε 13. Για την επιφάνεια του μετάλλου από 4 σε 8.

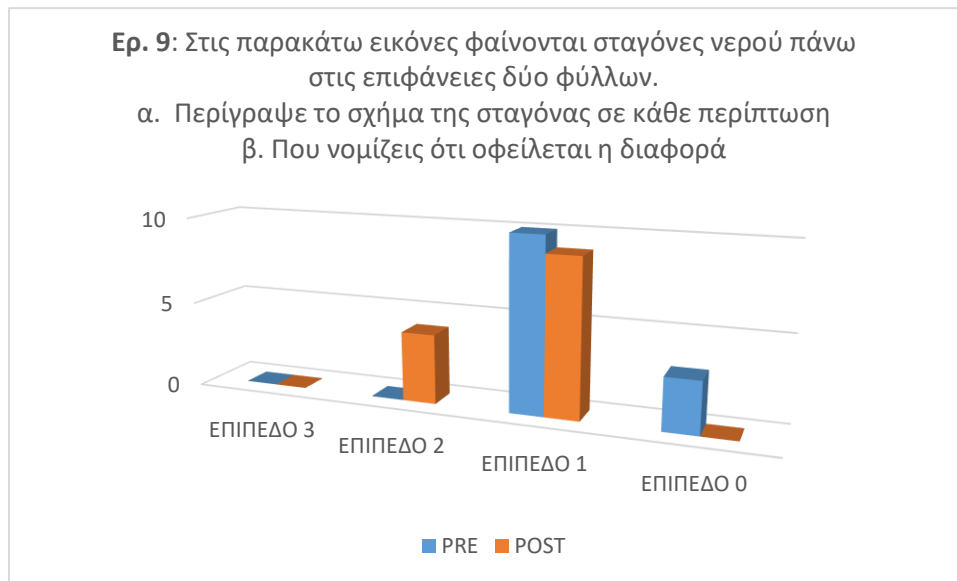
Παρότι έχουμε αύξηση των απαντήσεων για όλες τις επιφάνειες ωστόσο οι πιο λείες επιφάνειες συγκεντρώνουν τις λιγότερες απαντήσεις όπως και πριν την εφαρμογή.



Γράφημα 4: Η διαφοροποίηση των απόψεων ως προς τις επιφάνειες που η σαύρα μπορεί να σταθεί ανάποδα χωρίς να πέφτει.

4.2.4: Αποτελέσματα για το φαινόμενο του λωτού

Στο Γράφημα 5 για την Ερώτηση 9 (για τις εικόνες της Ερ. 9 βλ. ερωτηματολόγιο στο παράρτημα) στο Ε3 δεν είχαμε καμία απάντηση ούτε πριν ούτε μετά τη διδασκαλία. Για το Ε2 οι απαντήσεις αυξήθηκαν από 0 σε 4. Για το Ε1 οι απαντήσεις μειώθηκαν ελάχιστα από 10 σε 9. Για το Ε0 οι απαντήσεις μειώθηκαν από 3 σε καμία. Παρά την ελαφριά μετατόπιση των απαντήσεων προς το επίπεδο 2 το αξιοσημείωτο είναι ότι τα περισσότερα παιδιά φαίνεται να επιμένουν στις αρχικές τους απόψεις μακριά από την επιστημονική άποψη.



Γράφημα 5: Η διαφοροποίηση των απόψεων για την περιγραφή και την αιτιολόγηση του σχήματος της σταγόνας σε υπερυδροφόβη και υδρόφιλη επιφάνεια

Δίνονται μερικές αυτούσιες ενδεικτικές απαντήσεις μετά την εφαρμογή:

E2 : «Και στις δυο εικόνες οι σταγόνες είναι στρογγυλές απλώς στην Β εικόνα το φύλλο δεν είναι τόσο αδιάβροχο (υδρόφιλο) όπως στην Α»

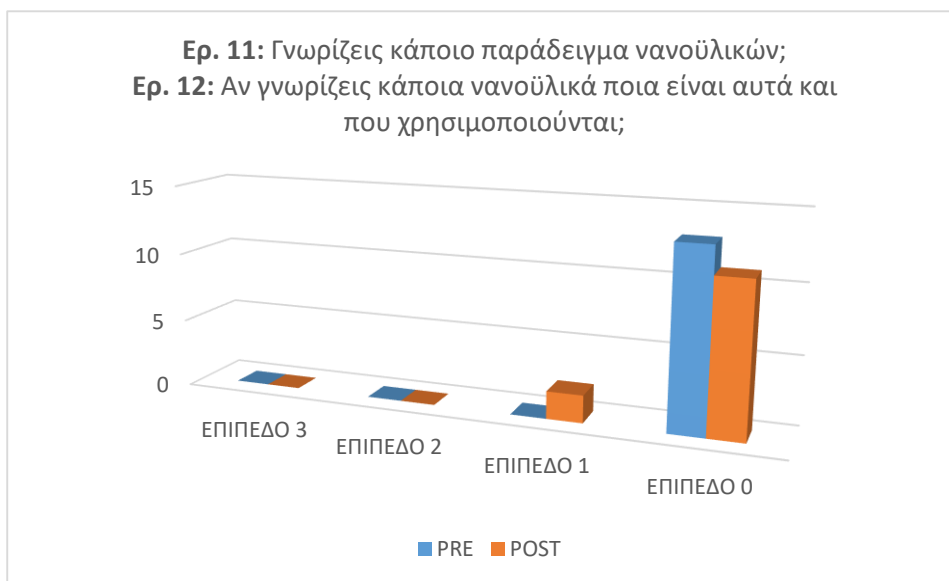
E2: «Α) στην πρώτη περίπτωση οι σταγόνες έχουν τη μορφή σχεδόν τέλειας σφαίρας, ενώ στη δεύτερη εφάπτεται στο φύλλο μεγαλύτερη επιφάνειά τους.

Β) (για το φαινόμενο της πρώτης περίπτωσης) ευθύνεται το είδος του φύλλου, καθώς είναι υπερυδροφόβο»

E1: «Η σταγόνα στην πρώτη εικόνα έχει στρογγυλό σχήμα ενώ στην δεύτερη πιο ακανόνιστο. Στην πρώτη η σταγόνα δεν απορροφάται από το φύλλο αντίθετα το φύλλο την διώχνει ενώ στην άλλη την απορροφά»

E1: «Στην 1η είναι σαν χάντρες στη 2η είναι πιο απλωμένες β. Λόγω της δομής του φυλλου»

4.2.5: Αποτελέσματα κατανόησης για τα νανοϋλικά και τη χρήση τους



Γράφημα 6: Η διαφοροποίηση της γνώσης για παραδείγματα νανοϋλικών και εφαρμογών τους

Στο Γράφημα 6 για τις Ερωτήσεις 11 και 12 παρατηρούμε ότι για τα E3 και E2 δεν έχουμε καμία απάντηση ούτε πριν ούτε μετά τη διδασκαλία. Για το E1 οι απαντήσεις από 0 αυξήθηκαν σε 2 και για το E0 μειώθηκαν ελαφρά από 13 σε 11. Εδώ είναι φανερό ότι δεν σημειώθηκε βελτίωση στις γνώσεις των μαθητριών και των μαθητών για τα νανοϋλικά και τις εφαρμογές τους.

ΚΕΦ.5: Συζήτηση και Συμπεράσματα

5.1: Γενικά

Στο κεφάλαιο αυτό επιχειρείται η ανάλυση των αποτελεσμάτων ανά ερευνητικό ερώτημα, οι αιτιάσεις και τα συμπεράσματα που μπορούν να διατυπωθούν δεδομένων των περιορισμών της εργασίας. Η συζήτηση επικεντρώνεται στην καταγραφή και στην προσπάθεια να ερμηνεύσουμε τη διαφορά της αρχικής και τελικής γνωστικής κατάστασης των μαθητών (Méheut&Psillos, 2004). Όπου είναι δυνατό γίνονται και βελτιωτικές προτάσεις.

5.2: Συζήτηση

5.2.1: Για τη νοηματοδότηση του όρου «Νανοεπιστήμη/Νανοτεχνολογία»

Στην Ερώτηση 4 του ερωτηματολογίου (Βλέπε Παράρτημα) οι μαθήτριες και οι μαθητές ερωτήθηκαν: «α. Τι νομίζεις εσύ ότι είναι η Νανοεπιστήμη/Νανοτεχνολογία; β. Γράψε ένα με δύο παραδείγματα που νομίζεις ότι έχουν σχέση με τη Νανοεπιστήμη/Νανοτεχνολογία». Όπως φαίνεται στο Γράφημα 1 πριν την εφαρμογή της ΔΜΣ επτά (7/10) απαντήσεις εντοπίζονται στο επίπεδο E2 και καμία στο E3. Επίσης μόνο μία από τις συνολικά δεκατρείς (1/13) απαντήσεις εντοπίζεται στο επίπεδο E1 και οι υπόλοιπες 5 (5/13) στο επίπεδο E0. Η σημαντικότερη μετατόπιση απόψεων μετά την εφαρμογή παρατηρείται από το επίπεδο E0 στο E1. Μετακινήθηκαν τέσσερις (4/13) απαντήσεις. Η μετατόπιση αυτή από την άγνοια στη γενική τοποθέτηση είναι μεν θετικό στοιχείο όμως πρέπει να σημειωθεί ότι συνολικά έξι (6/13) απαντήσεις ήταν και παρέμειναν μακριά από την επιστημονική άποψη ενώ μόνο δύο (2/13) απαντήσεις βελτιώθηκαν από το επίπεδο E2 στο E3. Αυτό δείχνει περιορισμένη επίδραση της ΔΜΣ στις απόψεις των μαθητριών και των μαθητών προς την επιστημονική άποψη. Μια υπόθεση που μπορεί να γίνει γι' αυτό είναι η εξ ανάγκης μετατόπιση του τρόπου διδασκαλίας προς το μοντέλο μεταφοράς της γνώσης λόγω πίεσης χρόνου, λόγω δυσκολιών στη συζήτηση(π.χ. αργή ή προβληματική σε ήχο απόκριση) και λόγω έλλειψης ανατροφοδότησης από τις αντιδράσεις των μαθητριών και των μαθητών αφού έλειπε η οπτική επαφή. Π.χ. δε συζητήθηκε ο ορισμός της N-ET με τις μαθήτριες και τους μαθητές αλλά απλώς παρουσιάστηκε σε διαφάνεια.

5.2.2: Για την κατανόηση του μεγέθους και της κλίμακας

Στην Ερώτηση 5 του ερωτηματολογίου (Βλέπε Παράρτημα) οι μαθήτριες και οι μαθητές ερωτήθηκαν: «α. Τοποθέτησε κατά σειρά μεγέθους από το μεγαλύτερο προς το μικρότερο τα εξής τέσσερα αντικείμενα: κύτταρο, άτομο υδρογόνου, τρίχα(το πάχος της), ιός β. Αιτιολόγησε την απάντησή σου». Όπως φαίνεται στο Γράφημα 2 πριν την εφαρμογή της ΔΜΣ εντοπίζονται μόνο 2/13 σωστές απαντήσεις στο Ε3, 6/13 απαντήσεις με ένα λάθος στο Ε1 και 5/13 απαντήσεις με δύο λάθη στο Ε0 για τη σειροθέτηση των τεσσάρων αντικειμένων. Μετά τη διδασκαλία παρατηρήθηκε μετατόπιση μόνο 3/13 απαντήσεις από το Ε0 στο επίπεδο Ε2. Είναι εντυπωσιακό ότι στο επίπεδο Ε1 παραμένει αμετάβλητος ο αριθμός των απαντήσεων(6/13). Αυτό αποτελεί μάλλον ισχυρή ένδειξη για τη σύγχυση που μπορεί να επικρατεί στις σχεσιακές αντιλήψεις των μαθητριών και των μαθητών για το μέγεθος και την κλίμακα. Παραθέτουμε παρακάτω τον Πίνακα 6-Α με τις απαντήσεις των μαθητριών και των μαθητών για τη σειροθέτηση και τις αντίστοιχες αιτιολογήσεις τους πριν την εφαρμογή της ΔΜΣ. Παρατηρούμε ότι στις αιτιολογήσεις των απαντήσεών τους οι μαθήτριες και οι μαθητές κυρίως αναφέρονται από τη μια στην τρίχα ως αντικείμενο που είναι «ευδιάκριτο», που «φαίνεται», που «μπορούμε να τη δούμε με γυμνό μάτι» και από την άλλη αναφέρονται αδιακρίτως (ή το υπονοούν) στα υπόλοιπα τρία αντικείμενα: «ενώ τα άλλα όχι», «ενώ τα υπόλοιπα όχι», «τα άλλα είναι αόρατα». Τρεις αιτιολογήσεις αναφέρονται επίσης αδιακρίτως σε μικροσκόπια σε αντιδιαστολή με το μάτι. Σε αυτές τις απαντήσεις πιθανόν κρύβεται η άγνοια ή η σύγχυση ως προς τη διάκριση των αντικειμένων μεταξύ τους σαν αντιπροσώπους διαφορετικής κλίμακας το καθένα. Το κριτήριο φαίνεται να τοποθετείται στο όριο ορατά-αόρατα ή ορατά με το μάτι-ορατά με μικροσκόπια γενικά. Δύο απαντήσεις που αναφέρονται στα άτομα (η 4η και η 6η) τα τοποθετούν στην άκρη της κλίμακας χωρίς σαφή αντίληψη της σχέσης μεγέθους τους με τους ιούς και τα κύτταρα: «το κύτταρο βρίσκεται σε όλα αλλά είναι ακόμα μικρότερο από τα παραπάνω και τέλος το άτομο που βρίσκεται στα περισσότερα από αυτά είναι το μικρότερο επειδή δεν διακρίνεται καν». Επιπλέον εδώ διαφαίνεται και η σύγχυση ή και η απουσία συσχέτισης

της έννοιας του κυττάρου στη Βιολογία ως τη μικρότερη μονάδα ζωής σε όλους τους ζωντανούς οργανισμούς και της έννοιας του ατόμου ως δομική μονάδα της ύλης γενικά σύμφωνα με όσα έχουν διδαχθεί οι μαθήτριες και οι μαθητές στη Φυσική και τη Χημεία.

Πίνακας 6-Α: Οι (pre)απαντήσεις των μαθητριών και των μαθητών στην Ερ. 5

α/α	α. οι ταξινομήσεις των αντικειμένων	β. οι αιτιολογήσεις τους
1	άτομο υδρογόνου, άτομο, ιός, τρίχα	χωρίς αιτιολόγηση
2	Υδρογόνο κύτταρο άτομο τρίχα	χωρίς αιτιολόγηση
3	ατομο υδρογονου , κυτταρο , ιος, τριχα.	χωρίς αιτιολόγηση
4	α. Τρίχα, ιός, κύτταρο, άτομο υδρογόνου.	Η τρίχα είναι η μεγαλύτερη επειδή είναι ευδιάκριτη, ενώ ο ιός χρειάζεται να προβληθεί με μικροσκόπιο, το κύτταρο βρίσκεται σε όλα αλλά είναι ακόμα μικρότερο από τα παραπάνω και τέλος το άτομο που βρίσκεται στα περισσότερα από αυτά είναι το μικρότερο επειδή δεν διακρίνεται καν.
5	κύτταρο , τρίχα , ιός , άτομο υδρογόνου	απλώς πιστεύω πως έτσι είναι η σειρά τους
6	τριχα , ιος , κυτταρο και ατομο υδρογονου.	Τα εβαλα ετσι γιατι τα ατομα υδρογονου δεν μπορουμε να τα δουμε με γυμνο ματι αλλα με μυκροσκοποιο ενω η τριχα φενετε ακομα και με το ματι μας
7	Τρίχα, ιός, κύτταρο, άτομο υδρογονου	χωρίς αιτιολόγηση
8	Τρίχα , κύτταρο , ιός , άτομο υδρογόνου , ιός	χωρίς αιτιολόγηση
9	Α.Τρίχα, κύτταρο, ιος, άτομο υδρογόνου	Β. Η τρίχα είναι κάτι που βλέπουμε με γυμνό μάτι ενώ όλα τα άλλα όχι
10	τρίχα, ιός, κύτταρο, άτομο υδρογόνου	σκέφτηκα το πόσο εμφανες είναι ή όχι με γυμνό μάτι ή στο μικροσκόπιο και πάνω κάτω το μέγεθος που θα έχει
11	τρίχα/ιός/κύτταρο/άτομο υδρογόνου.	Η τρίχα έχει το μεγαλύτερο μέγεθος γιατί μπορούμε να την δούμε με γυμνό μάτι ενώ τα υπόλοιπα όχι.
12	Ίος , κύτταρο , άτομο υδρογόνου , τρίχα	=γιατί αλλά τα άλλα είναι αόρατα και μόνο η τρίχα φαίνεται
13	Άτομο Υδρογόνου, τρίχα, ιός, κύτταρο	χωρίς αιτιολόγηση

Παρακάτω στον Πίνακα 6-B παραθέτουμε τις απαντήσεις των μαθητριών και των μαθητών για τη σειροθέτηση και τις αντίστοιχες αιτιολογήσεις τους μετά την εφαρμογή της ΔΜΣ.

Πίνακας 6-B: Οι (post)απαντήσεις των μαθητριών και των μαθητών στην Ερ. 5

α/α	α. οι ταξινομήσεις των αντικειμένων	β. οι αιτιολογήσεις τους
1	τριχα, κυτταρο, ιος , άτομο υδρογονου	χωρίς αιτιολόγηση
2	Τρίχα, κύτταρο, άτομο υδρογόνου, ιός.	Η τρίχα είναι η μεγαλύτερη επειδή διακρίνεται με το μάτι, ενώ τα υπόλοιπα με μικροσκόπιο.
3	Τρίχα , κύτταρο , ιός , άτομο υδρογόνου	χωρίς αιτιολόγηση
4	κύτταρο ιός άτομο υδρογόνου τρίχα	χωρίς αιτιολόγηση
5	Τρίχα ιός Β κύτταρο άτομο υδρογόνου	χωρίς αιτιολόγηση
6	Τρίχα ,ιός ,κύτταρο ,άτομο	χωρίς αιτιολόγηση
7	άτομο υδρογόνου, ιός, κύτταρο, τρίχα	χωρίς αιτιολόγηση
8	τρίχα, ιός, κύτταρο, άτομο υδρογόνου	(λόγω του ότι η τρίχα είναι η μόνη που διακρίνεται με γυμνό μάτι)
9	τρίχα, ιός, κύτταρο, άτομο υδρογόνου	χωρίς αιτιολόγηση
10	Τρίχα, κύτταρο, ιός, άτομο υδρογόνου	χωρίς αιτιολόγηση
11	τρίχα, ιός, κύτταρο , άτομο υδρογόνου	χωρίς αιτιολόγηση
12	Τρίχα, κύτταρο, ιός, άτομο υδρογόνου	Η τρίχα είναι μεγαλύτερη γιατί μπορούμε να την δούμε με το μάτι. Τα κύτταρα και τους ιούς μπορούμε να τα δούμε και με οπτικό και με ηλεκτρονικό μικροσκόπιο ενώ τα άτομα μόνο με το ηλεκτρονικό.
13	Τρίχα- κυτταρο-ιος-άτομα υδρογόνου	χωρίς αιτιολόγηση

Από τη σύγκριση των δύο πινάκων παρατηρούμε αρχικά ότι οι απαντήσεις χωρίς αιτιολόγηση αυξήθηκαν από 6/13 σε 10/13. Να σημειώσουμε εδώ ότι το post ερωτηματολόγιο συμπληρώθηκε 1^η ώρα του προγράμματος και ημέρα Δευτέρα. Είναι μια ώρα που η εμπειρία έχει δείξει ότι η ενεργός συμμετοχή των μαθητριών και των

μαθητών στην εκπαιδευτική διαδικασία είναι εξαιρετικά μειωμένη. Αυτό όμως είναι κάτι που δεν προβλέφθηκε. Μπορούμε ακόμα να υποθέσουμε ότι οι μαθήτριες και οι μαθητές δεν έδωσαν αιτιολόγηση επειδή διαισθάνθηκαν ότι είχαν λάθος προσέγγιση και δυσκολεύτηκαν να υιοθετήσουν και να εκφράσουν κάποια ορθότερη επιστημονικά άποψη. Στο σημείο αυτό νομίζουμε ότι σε μια επόμενη και με μεγαλύτερο δείγμα ποιοτική έρευνα θα είχε αξία να διερευνηθούν οι λόγοι για την απουσία αιτιολόγησης τους οποίους προβάλλουν τα ίδια τα άτομα που ερωτώνται. Ως προς το περιεχόμενο, παρατηρούμε ότι σε μία μόνο αιτιολόγηση(τη 12^η) φαίνεται να έχουμε σαφή μετατόπιση προς την επιστημονικά ορθή άποψη για τη διάκριση των αντικειμένων με βάση το όργανο παρατήρησης. Η απάντηση αν και μερικώς εσφαλμένη (θεωρεί τα κύτταρα ορατά και με το ηλεκτρονικό μικροσκόπιο) κάνει ρητή αναφορά στο ηλεκτρονικό μικροσκόπιο και επιχειρεί τη σειροθέτηση με κριτήριο το όργανο παρατήρησης. Οι παραπάνω διαπιστώσεις περιορίζουν σημαντικά την εξαγωγή ασφαλών συμπερασμάτων και θέτουν ερωτηματικά για τις συνθήκες με τις οποίες συμπληρώθηκαν τα ερωτηματολόγια(προθυμία των μαθητριών και των μαθητών, ενδιαφέρον, κούραση κ.α.). Οι συνθήκες αυτές φαίνεται να οφείλονται κυρίως στους περιορισμούς που προέκυψαν από την τηλεκπαίδευση. Αυτή είναι, κατά την άποψή μας και σύμφωνα με προφορικές δηλώσεις των μαθητριών και των μαθητών, μια βάσιμη υπόθεση για την οποία δε μπορούμε να επικαλεστούμε συγκεκριμένα στοιχεία στη φάση αυτή. Ωστόσο η χαμηλή αποτελεσματικότητα εδώ μπορεί να οφείλεται και στην απουσία γνωστικών δομών και αντίληψης για την κατανόηση των 'αόρατων' κόσμων και των περιοχών τους αφού όπως αναφέρεται στον Μάνου (2019) οι μέχρι τώρα δημοσιευμένες εργασίες καταγράφουν τις δυσκολίες που συναντούν μαθητές όλων των ηλικιών καθώς και εκπαιδευτικοί, να συλλάβουν τα μεγέθη των μικρών αντικειμένων που δεν ανήκουν στην αισθητηριακή μας αντίληψη (Bryan et al., 2015; Delgado et al., 2015; Magana, Brophy, & Bryan, 2012).

5.2.3: Για το φαινόμενο της σαύρας γκέκο

Στην Ερώτηση 6 του ερωτηματολογίου (Βλέπε Παράρτημα) οι μαθήτριες και οι μαθητές ερωτήθηκαν: «Οι σαύρες έχουν την ικανότητα να στέκονται ανάποδα σε επιφάνειες

χωρίς να πέφτουν. Πως νομίζεις ότι το καταφέρνουν αυτό;». Οι pre και post απαντήσεις των δεκατριών παιδιών του δείγματος στην Ερώτηση 6 φαίνονται στον Πίνακα 7.

Πίνακας 7: Οι (pre)και (post) απαντήσεις των μαθητριών και μαθητών στην Ερ. 6

(Σημείωση: Οι δύο απαντήσεις σε κάθε γραμμή του πίνακα δεν ανήκουν στο ίδιο άτομο)

α/α	Pre	post
1	υπάρχει τριβή στα χέρια τους	με τις δυναμεις Waals
2	Δεν ξέρω	Λόγω του μηχανισμού που διαθέτουν στα άκρα τους και των δυνάμεων που προκαλούν κατά την επαφή τους με την επιφάνεια.
3	με μια κολλητικη ουσια που φέρουν τα πόδια τους	Με τις δυνάμεις βαντερβαλ
4	Με μια ουσία που έχουν στα άκρα τους η οποία τις βοηθάει να ισορροπούν.	Με τις δυνάμεις van der wals που αναπτύσσονται στα πόδια τους..
5	Χωρίς να γνωρίζω πιστεύω ότι βεντουζώνουν τα πόδια τους σε επιφάνειες	Θεωρώ πως οι σαύρες βεντουζωνουν στις επιφάνειες
6	Τα καταφερνουν λογο τον βεντουζων τους	Διότι έχουν κάτι στα πόδια τους και αυτό τότε επιτρέπει να το κάνουν .
7	Δεν έχω ιδεα	δημιουργείται τριβή από τις τρίχες που έχουν με την επιφάνεια
8	Πιστεύω ότι θα έχουν κάτι σαν βεντουσακια στα πόδια τους που δεν θα τους αφήνουν να πέσουν όταν θα είναι ανάποδα	Με τη βοήθεια των δυνάμεων Wan der Waals
9	Ίσως έχουν ένα ειδικό υγρό στις πατούσες ή κάποιες τριχούλες που κολλάνε στην επιφάνεια	Λόγω των δυνάμεων Van der Waals
10	Έχουν κάποια ουσία στο κάτω μέρος του σωματός τους που τους επιτρέπει να κολλάνε ή τις βοηθάνε τα πόδια του	Με τα τριχίδια που έχουν στις πατούσες τους τα οποία έχουν ακόμα μικρότερα Τριχίδια μέσα τους που φορτίζουν με την διατριβή και έτσι μπορούν να απωθούν την βαρύτητα.
11	Ίσως παίζει ρόλο ο τρόπος κατασκευής του δέρματος τους αλλά και η επιφάνεια στην οποία στέκονται.	χάρη στις δυνάμεις Van der Waals
12	Με μια ουσία που έχουν στα άκρα τους	Αυτό οφείλεται στην δομή που έχει το πέλμα τους. Έτσι ασκούνται δυνάμεις Van der Waals αναμεσα στην σαύρα και στην επιφάνεια.
13	Πιστεύω είναι λόγω των κολλώδη ποδιών τους τα οποία έχουν μια κολλώδη ουσία που τους βοηθάει.	Με την βοήθεια των τριχιδιων τους και τις δυνάμεις βαν ντερ βαλς

Όπως φαίνεται στο Γράφημα 3 πριν την εφαρμογή της ΔΜΣ εντοπίζεται μόνο μία από τις συνολικά δεκατρείς (1/13) απαντήσεις να περιέχει επιστημονικό όρο της NET και αυτή είναι στο επίπεδο E2. Οι άλλες δώδεκα κατανέμονται δέκα (10/13) στο E1 και δύο (2/13) στο E0. Μετά τη διδασκαλία μετρήθηκαν δέκα από τις δεκατρείς απαντήσεις στο E2. Δηλαδή (9/13) απαντήσεις μετατοπίστηκαν από τα E0 και E1 προς τη μερικώς επιστημονική άποψη E2.

Η μεγαλύτερη μετατόπιση παρατηρείται από το E1 προς το E2. Δηλαδή αυτές/οί οι μαθήτριες και οι μαθητές μετά τη διδασκαλία ήταν σε θέση να χρησιμοποιήσουν τουλάχιστον έναν όρο της NET για να απαντήσουν στην Ερώτηση 6. Αυτό δείχνει σαφώς τη θετική επιρροή της διδασκαλίας όμως είναι αξιοσημείωτο ότι δεν εντοπίστηκε καμία ολοκληρωμένη απάντηση στο επίπεδο E3. Εδώ μπορούμε να υποθέσουμε ότι ευθύνεται ο μεγάλος όγκος πληροφορίας που δόθηκε σε λίγο χρόνο. Μάλλον απαιτούνται περισσότερες δραστηριότητες αφομοίωσης των νέων εννοιών ή/και στοχευμένη διεπιστημονική προσέγγιση του Α.Π. σε γενικότερες έννοιες όπως π.χ. δυνάμεις συνάφειας, διαμοριακές δυνάμεις, μέγεθος και κλίμακα κ. ά.

Στην Ερώτηση 7 του ερωτηματολογίου (βλέπε Παράρτημα) καλούνται να απαντήσουν στο ερώτημα: «Σε ποια επιφάνεια ή ποιες επιφάνειες νομίζεις ότι μπορεί να σταθεί ανάποδα η σαύρα χωρίς να πέφτει; Τσέκαρε μια ή περισσότερες επιφάνειες». Στο Γράφημα 4 παρουσιάζεται το πλήθος των απαντήσεων ανά επιφάνεια επαφής πριν και μετά την εφαρμογή της ΔΜΣ. Παρατηρούμε ότι αρχικά τα περισσότερα παιδιά επιλέγουν το ξύλο(10/13) και τον τοίχο(11/13) κάτι που το τεκμηριώνουν κυρίως με βάση την εμπειρία τους όπως φαίνεται στις (pre)απαντήσεις της Ερώτησης 8 (Πίνακας 8-A) ενώ ελάχιστες μαθήτριες και μαθητές επιλέγουν το γυαλί(1/13) και το μέταλλο (4/13). Οι αιτιάσεις των μαθητριών και των μαθητών εδώ φαίνεται να εκκινούνται από την παρανόηση ότι η σαύρα 'κολλάει δυσκολότερα' ή 'γλιστράει' στις λείες επιφάνειες και από την πλούσια εμπειρία τους καθώς φοιτούν σε επαρχιακό σχολείο κωμόπολης.

Πίνακας 8-A: Οι (pre) απαντήσεις των μαθητριών και μαθητών στις Ερ. 7 και 8

(Σημείωση: Οι δύο απαντήσεις σε κάθε γραμμή του πίνακα ανήκουν στο ίδιο άτομο)

α/α	Για την Ερ. 7	Για την Ερ.8
1	ξύλινη επιφάνεια, τοίχο	γιατί μπορώ να την φανταστώ εκεί
2	τοίχο	Δεν ξέρω
3	ξύλινη επιφάνεια, τοίχο	πιθανον δεν θα είναι τόσο λειες
4	ξύλινη επιφάνεια, τοίχο, σιδερένια επιφάνεια	Φαίνονται οι πιο σταθερές, επειδή αυτή η ουσία μπορεί να μη λειτουργεί σε όλες τις επιφάνειες.
5	ξύλινη επιφάνεια, τοίχο	Διάλεξα αυτές διότι δεν είναι τόσο λείες ώστε να γλιστράει ακόμη και αν βεντουζώσει
6	ξύλινη επιφάνεια, καλογουαλισμένο γυαλί, τοίχο, σιδερένια επιφάνεια	Γιατι μια σαυρα μπορει να σταθει σε οποιοδηποτε σημειο
7	ξύλινη επιφάνεια, τοίχο	Γιατί έχω δει σαύρες να κινούνται σε τέτοιες επιφανείες
8	ξύλινη επιφάνεια, τοίχο	Γιατί έχω δει να μπορούν να σταθούν ανάποδα σε αυτές τις επιφάνειες
9	ξύλινη επιφάνεια, τοίχο, σιδερένια επιφάνεια	Θεώρησα ότι θα μπορούσε να κολλήσει
10	ξύλινη επιφάνεια, τοίχο	γιατί εκεί βλέπω πιο συχνά σαύρες
11	ξύλινη επιφάνεια, τοίχο	Γιατί δεν είναι λείες άρα δεν γλιστράνε οπότε θα είναι πιο εύκολο να σταθεί.
12	ξύλινη επιφάνεια, σιδερένια επιφάνεια	Γιατί έτσι έχω δει τις περισσότερες σαύρες να κάθονται
13	ξύλινη επιφάνεια, τοίχο	Γιατί είναι τραχιές και πιστεύω οι σαύρες θα μπορούνε να στέκονται καλύτερα (να κολλάνε δηλαδή).

Στο post ερωτηματολόγιο παρατηρείται αύξηση του αριθμού των απαντήσεων για όλες τις επιφάνειες. Ενδιαφέρον παρουσιάζει περισσότερο η αύξηση από 1/13 σε 5/13 για το γυαλί και από 4/13 σε 8/13 στο μέταλλο.

Από αυτό φαίνεται ότι χάνει έδαφος η παρανόηση που καταγράφηκε πριν. Ωστόσο παραμένει ισχυρή καθώς μόνο 5/13 νομίζουν ότι η σαύρα μπορεί να σταθεί ανάποδα χωρίς να πέφτει σε γυάλινη επιφάνεια και μόνο 8/13 σε μεταλλική επιφάνεια. Η προηγούμενη εμπειρία τους από σαύρες που σκαρφαλώνουν σε τοίχους και ξύλινες επιφάνειες στο περιβάλλον που ζουν φαίνεται να υπερισχύει και να τους προκαλεί δυσπιστία απέναντι στη νέα εμπειρία μέσω βίντεο για τη σαύρα που αναρριχάται σε

Πίνακας 8-B: Οι (post) απαντήσεις των μαθητριών και μαθητών στις Ερ. 7 και 8

(Σημείωση: Οι δύο απαντήσεις σε κάθε γραμμή του πίνακα ανήκουν στο ίδιο άτομο)

α/α	Για την Ερ. 7	Για την Ερ.8
1	ξύλινη επιφάνεια, τοίχο	δεν είναι ομαλές
2	καλογουαλισμένο γυαλί, τοίχο, σιδερένια επιφάνεια	Επειδή δεν γλιστράνε. Η σαύρα δεν μπορεί να σταθεί σε όλα λόγω των ουδέτερα φορτισμένων ιόντων στα πόδια της, επομένως χρειάζεται μια επίσης ουδέτερα φορτισμένη επιφάνεια ώστε να δημιουργηθούν αρνητικά και θετικά φορτισμένα ιόντα για να μπορέσει να "κολλήσει" σε αυτήν.
3	ξύλινη επιφάνεια, τοίχο, σιδερένια επιφάνεια	Γιατί έχω δει πάνω σε τέτοιες επιφάνειες σαύρες
4	ξύλινη επιφάνεια, τοίχο	Γιατί έχω δει.
5	ξύλινη επιφάνεια, τοίχο	Διότι εκεί η σαύρα μπορεί να βεντουζώσει περισσότερη ώρα επειδή δεν είναι λεία
6	ξύλινη επιφάνεια, τοίχο, σιδερένια επιφάνεια	Γιατί οι σαύρες Μπορούν και στέκονται σε αυτές .
7	ξύλινη επιφάνεια, τοίχο, σιδερένια επιφάνεια	γιατί υπάρχει τριβή σε αυτές
8	ξύλινη επιφάνεια, καλογουαλισμένο γυαλί, τοίχο, σιδερένια επιφάνεια, οποιαδήποτε επιφάνεια	Επειδή οι δυνάμεις εμφανίζονται σε όλες τις επιφάνειες , άλλοτε σε μικρότερο και άλλοτε σε μεγαλύτερο βαθμό
9	ξύλινη επιφάνεια, τοίχο	Γιατί είναι πιο λείες
10	ξύλινη επιφάνεια, καλογουαλισμένο γυαλί, τοίχο, σιδερένια επιφάνεια	Τα τριχίδια στην επιφάνεια της πατούσας της σαύρας είναι πιο πιθανό να "κολλήσουν" σε μια από αυτές τις επιφάνειες επειδή είναι πιο τραχιές.
11	ξύλινη επιφάνεια, τοίχο	Γιατί οι δυνάμεις van der waals μπορούν να εμφανιστούν σε αυτές τις επιφάνειες.
12	ξύλινη επιφάνεια, καλογουαλισμένο γυαλί, τοίχο, σιδερένια επιφάνεια	Γιατί η σαύρα εξαιτίας του τρόπου με τον οποίο είναι δομημένο το πέλμα τους δηλαδή αποτελείται από δομές ενώ αν πλησιάσουμε με το μικροσκόπιο παρατηρούμε τα νανοτριχίδια στην κορυφή των οποίων υπάρχουν οι σπάτουλες . Ανάμεσα σε αυτές και στην επιφάνεια ασκούνται δυνάμεις Van der Waals . Επειδή οι σπάτουλες είναι πάρα πολλές η σαύρα έχει την δυνατότητα να σταθεί ανάποδα σε οποιαδήποτε επιφάνεια .
13	ξύλινη επιφάνεια, καλογουαλισμένο γυαλί, τοίχο, σιδερένια επιφάνεια	Γιατί κολλάει παντού

γυάλινη επιφάνεια. Στον Πίνακα 8-B παρατηρούμε επίσης ότι μόνο δύο απαντήσεις έχουν μετατοπιστεί σαφώς προς την επιστημονική άποψη και χρησιμοποιούν ως κριτήριο την εμφάνιση δυνάμεων αδιακρίτως σε όλες τις επιφάνειες.

Στο σημείο αυτό παρατηρούμε τη σημαντική διαφορά στην αποτελεσματικότητα της διδασκαλίας ανάμεσα στην Ερώτηση 6 και τις Ερωτήσεις 7 και 8. Διαπιστώνουμε ότι είναι πιο εύκολη η υποχώρηση των παρανοήσεων που καταγράφηκαν στις Ερωτήσεις 7 και 8 καθώς πρόκειται απλά για μια εντύπωση που ανατρέπεται σχετικά εύκολα-τουλάχιστον προσωρινά-με πραγματικές εικόνες-βίντεο(νέες εμπειρίες δηλαδή) από τον ορατό κόσμο, το μακρόκοσμο. Αυτό σε αντίθεση με την προηγούμενη Ερώτηση 6 που οι παρανοήσεις επιμένουν αφού οι απαντήσεις απαιτούν νέα εννοιολογικά εργαλεία και μάλλον αλλαγή συστήματος σκέψης δηλαδή δομική αλλαγή στην αντίληψη για τον αόρατο κόσμο για τον οποίο δεν υπάρχει εμπειρία.

5.2.4: Για το φαινόμενο του λωτού

Στην Ερώτηση 9 του ερωτηματολογίου (Βλέπε Παράρτημα) οι μαθήτριες και οι μαθητές ερωτήθηκαν: «Στις παρακάτω εικόνες φαίνονται σταγόνες νερού πάνω στις επιφάνειες δύο φύλλων. α. Περιγράψε το σχήμα της σταγόνας σε κάθε περίπτωση β. Που νομίζεις ότι οφείλεται η διαφορά στο σχήμα των δύο σταγόνων;». Όπως φαίνεται στο Γράφημα 5 για την Ερώτηση 9 πριν την εφαρμογή της ΔΜΣ δεν εντοπίζεται καμία απάντηση στα επίπεδα E3 και E2. Όλες οι απαντήσεις είναι μακριά από την επιστημονική άποψη. Πιο συγκεκριμένα εντοπίζονται δέκα (10/13) απαντήσεις στο E1 και τρεις (3/13) απαντήσεις στο E0. Μετά τη διδασκαλία μετρήθηκαν μόνο τέσσερις από τις δεκατρείς απαντήσεις να μετατοπίζονται στο E2 και καμία στο E3. Δηλαδή έχουμε μόνο τέσσερις (4/13) απαντήσεις που μετατοπίστηκαν από τα E0 και E1 προς τη μερικώς επιστημονική άποψη E2. Είναι θετικό που δεν έχουμε απαντήσεις στο E0 μετά την εφαρμογή όμως είναι φανερό ότι η αποτελεσματικότητα είναι πολύ χαμηλή.

Πίνακας 9: Οι (pre)και (post) απαντήσεις των μαθητριών και μαθητών στην Ερ. 9
(Σημείωση: Οι δύο απαντήσεις σε κάθε γραμμή του πίνακα δεν ανήκουν στο ίδιο άτομο)

α/α	Pre	post
1	είναι παραμορφωμένες σταγόνες	στην 1η το νερο απωθεται απο το φυττο ενω στην 2η οχι
2	Στο 1ο	Στην πρώτη εικόνα οι σταγόνες είναι μικρότερες και ίσως δυσδιάκριτες, αλλά πιο καθαρές. Στη δεύτερη φαίνονται πιο θολές, αλλά ευδιάκριτες και μεγαλύτερες σε μέγεθος.
3	η πρωτη απωθει το νερο ενω η δευτερη οχι	Η σταγόνα στην πρώτη εικόνα έχει στρογγυλό σχήμα ενώ στην δεύτερη πιο ακανόνιστο. Στην πρώτη η σταγόνα δεν απορροφάται από το φύλλο αντίθετα το φύλλο την διώχνει ενώ στην άλλη την απορροφά.
4	Στην εικ.1 οι σταγόνες φαίνονται σχετικά πιο "καθαρές", είναι πιο λίγες καθαρές και είναι μεγάλες. Στην εικ.2 είναι μεγάλες και μικρές, πιο πυκνές και πιο θολές. Αυτό ίσως οφείλεται στη διαφορά της θερμοκρασίας του κλίματος.	Εικ.1 Σε αυτήν την εικόνα οι σταγόνες μένουν στρογγυλές χωρίς να απορροφούνται. Εικ.2 Σε αυτήν την εικόνα οι σταγόνες ανοίγουν και το φύλλο αρχίζει και τις απορροφά. Αυτό γίνεται κυρίως επειδή στην πρώτη εικόνα το φύλλο είναι λωτού και έχει την δυνατότητα να κρατά τις σταγόνες σε αυτή την μορφή.
5	Στο ράντισμα	Και στις δυο εικόνες οι σταγόνες είναι στρογγυλές απλώς στην Β εικόνα το φύλλο δεν είναι τόσο αδιάβροχο (υδρόφιλου) όπως στην Α
6	στην μια επηφανια στην εικονα 1 η σταγονα εχει σχημα στρογκυλο ενω στο αλλο σχημα η σταγονα εχει πολυ διαφορετικο. Αυτο γινετε γιατι στην εικονα 1 οι σταγονες ειναι μακρια η μια απο την αλλη ενω στην εικονα 2 οι σταγονες ειναι πολλες μαζι και ενωνονται μεταξη τους.	α)οι σταγόνες στην πρώτη εικόνα είναι πιο μικρές και πιο λίγες β) πιστεύω ότι οφείλεται στην ταχύτητα την οποία πέφτει το νερό η (βροχή) .

7	A. Οι σταγόνες στην 1η εικόνα φαίνονται συμπαγείς ενώ στη 2η εικόνα φαίνονται πιο αραιωμένες B. Η διαφορά μπορεί να βρίσκεται στο κλίμα που επικρατεί	στην πρώτη εικόνα οι σταγόνες είναι στρογγυλές ενώ στην δεύτερη έχουν διαφορετικό σχήμα η κάθε μία
8	Στην α εικόνα η σταγόνα έχει πιο στρογγυλό σχήμα ενώ στην β πιο ακατάστατο. Νομίζω πως οφείλετε πως η α εικόνα έχει επιφάνεια σαν να είναι αδιάβροχη.	A) στην πρώτη περίπτωση οι σταγόνες έχουν τη μορφή σχεδόν τέλειας σφαίρας, ενώ στη δεύτερη εφάπτεται στο φύλλο μεγαλύτερη επιφάνειά τους. B) (για το φαινόμενο της πρώτης περίπτωσης) ευθύνεται το είδος του φύλλου, καθώς είναι υπερευδρόφοβο
9	Στην 1η η επιφάνεια είναι βελούδινη στα είναι είναι σαν μπαλάκια λόγω τριβής και στη 2η είναι πιο λεία που σχεδόν ακουμπάνε	Η μία σταγόνα είναι πιο σφαιρική ενώ η άλλη πιο επίπεδη. Αυτό οφείλεται στο πόσο ισχυρή ή όχι είναι η προσκόλληση
10	στην 1η εικόνα οι σταγόνες είναι πιο κυκλικές ενώ στη 2η πιο οβάλ, ίσως παίζει ρόλο ο τύπος φύλλου ή το υψόμετρο	Στη πρώτη εικόνα είναι πιο εύκολες να τις εντοπίσεις είναι επίσης και πιο μικρές, ενώ στη δεύτερη είναι πιο μεγάλες, πιο πολλές αλλά και πιο θολές.
11	Στην πρώτη εικόνα είναι πιο στρογγυλές και ίδιου μεγέθους ενώ στην δεύτερη έχουν πιο ακανόνιστο σχήμα. Αυτό ίσως οφείλετε στην επιφάνεια του φύλλου.	Στην πρώτη εικόνα οι σταγόνες είναι πιο στρογγυλές κι έχουν διατηρήσει το σχήμα τους ακριβώς όπως είναι. Στη δεύτερη εικόνα οι σταγόνες έχουν χάσει το στρογγυλό τους σχήμα . Αυτό συμβαίνει γιατί η επιφάνεια του φύλλου της πρώτης εικόνας είναι υδρόφοβοι ενώ του δεύτερου υδρόφιλη.
12	Το σχήμα της σταγόνας έχει το δάκρυ ,και πιστεύω ότι οφείλεται στο είδος του φυτού ή στην ταχύτητα της οποι πέφτει πχ ηβροχη	Στην πρώτη εικόνα είναι πιο σφαιρικές ενώ στην δεύτερη όχι και τόσο.
13	Αυτό δεν το ξέρω συγγνώμη.	Στην 1η είναι σαν χάντρες στη 2η είναι πιο απλωμένες β. Λόγω της δομής του φυλλου

Συγκεκριμένα όπως φαίνεται στον Πίνακα 9 δε χρησιμοποιήθηκε στις (post)απαντήσεις ούτε η επιφάνεια επαφής ούτε ο βαθμός προσκόλλησης για να εξηγηθεί το σχήμα της σταγόνας. Τρεις υποθέσεις που μπορούμε να κάνουμε γι' αυτό σε πρώτη φάση από διδακτική άποψη είναι: α. ο μάλλον μεγάλος όγκος περιεχομένου για τις τρεις διδακτικές

ώρες που αφιερώθηκαν στο φαινόμενο του λωτού και β. η χρήση μοντέλων στην καθοδηγούμενη διερεύνηση για την προσκόλληση, τον αυτοκαθαρισμό και την υπερυδροφοβικότητα καθώς όπως αναφέρουν οι Σπύρτου, Μάνου, Πέϊκος και Παπαδοπούλου(2018) μια από τις συχνές δυσκολίες που αντιμετωπίζουν οι μαθήτριες και οι μαθητές είναι ότι «δεν κατανοούν το σκοπό εμπλοκής τους σε διαδικασίες διερεύνησης με βάση τα μοντέλα». Ιδιαίτερως οι μαθήτριες και οι μαθητές του Λυκείου που δεν είναι εξοικειωμένες/-νοι με διαδικασίες διερεύνησης και που η απόσταση που επέβαλε ή τηλεκπαίδευση δεν άφησε περιθώρια να υποστηριχτούν μεταξύ τους και από τη διδάσκουσα σε αυτό. γ. Οι αδυναμίες εστίασης στα μοντέλα που χρησιμοποιήθηκαν για την επιφάνεια επαφής και την προσκόλληση. Συγκεκριμένα στο Φύλλο εργασίας 1 που φαίνεται στην Εικόνα 25(παρ. 3.3.3) της εργασίας: Το μοντέλο για την ποιοτική προσέγγιση της γωνίας επαφής θα ήταν μάλλον προτιμότερο να χρησιμοποιηθεί αποκλειστικά για την Ερώτηση 1 και μόνο για τη γωνία επαφής (ή να παραλειφθεί). Η σύγκριση που ζητήθηκε να κάνουν οι μαθήτριες και οι μαθητές με την Ερώτηση 2 φαίνεται να προκάλεσε σύγχυση καθώς επιδίωκε να εστιάσει στην επιφάνεια επαφής. Μάλλον θα λειτουργούσε καλύτερα αν η ερώτηση 2 περιοριζόταν στη χρήση μόνο του 2^{ου} μοντέλου, βελτιωμένου, με ανάλογη διατύπωση (Μάνου 2019). Ένα μοντέλο μπορεί να αλλάζει όταν η συμπεριφορά του δεν συνάδει με την παρατήρηση του φαινομένου (Πετρίδου & Ψύλλος, 2008).

Επίσης στο Φύλλο εργασίας 3 για τον αυτοκαθαρισμό και την προσκόλληση που φαίνεται στην Εικόνα 28 (παρ. 3.3.4.). Θα μπορούσε το περιεχόμενο να είναι πιο αφαιρετικό (χωρίς λεζάντες) και πιο εστιασμένα τα ερωτήματα. Συγκεκριμένα η Ερώτηση 1 θα μπορούσε να αντικατασταθεί ως εξής:

A. για τον αυτοκαθαρισμό:

-Τι βλέπουμε στο (α); Με ποιο όργανο;

-Τι βλέπουμε στο (γ); Με ποιο όργανο;

-Ποιο φαινόμενο παρατηρούμε στα (α) και (γ);

-Τι βλέπουμε στο (β); Μετά από συζήτηση, η απάντηση θα ήταν: Μια προσπάθεια αναπαράστασης; Ένα μοντέλο για τον αυτοκαθαρισμό.

και η ερώτηση 2 (με βάση το μοντέλο στο σχήμα (β) θα μπορούσε να αντικατασταθεί ως εξής:

B. για την προσκόλληση:

- αν γυρίσουμε ανάποδα το φύλλο του λωτού θα φύγουν τα σκουπιδάκια;
- ποιες δυνάμεις κρατούν προσκολλημένα τα σκουπιδάκια στο φύλλο;
- ποιες δυνάμεις 'κλέβουν' τα σκουπιδάκια και τα προσκολλούν στη σταγόνα που κυλάει;
- Στο σχήμα (β)

1^ο) να συμπληρώσετε τις παρακάτω φράσεις στα κενά:

επιφάνεια φύλλου, μικροπροεξοχές, νανοπροεξοχές

2^ο) νομίζετε ότι οι δυνάμεις van der Waals είναι πιο αποτελεσματικές/ισχυρές:

- Ανάμεσα στα σκουπιδάκια και τη σταγόνα;
- Ανάμεσα στα σκουπιδάκια και την επιφάνεια του φύλλου;
- Ανάμεσα στη σταγόνα και τις νανοπροεξοχές στο φύλλο του λωτού;

Αιτιολογείστε την απάντησή σας.

5.2.5: Για τα νανοϋλικά και τη χρήση τους

Με τις Ερωτήσεις 11 και 12 του ερωτηματολογίου (Βλέπε Παράρτημα) οι μαθήτριες και οι μαθητές ερωτήθηκαν: «11. Γνωρίζεις κάποιο παράδειγμα νανοϋλικών; 12. Αν γνωρίζεις κάποια νανοϋλικά ποια είναι αυτά; Και που χρησιμοποιούνται;». Στο γράφημα 6 για τις Ερωτήσεις 11 και 12 δεν εντοπίζεται αξιοσημείωτη μεταβολή στις γνώσεις των μαθητριών και των μαθητών για τα νανοϋλικά και τις χρήσεις τους στα επίπεδα E2 και E1. Όλες οι απαντήσεις (13/13) ήταν πριν και σχεδόν όλες (11/13) παρέμειναν και μετά την εφαρμογή στο επίπεδο E0. Η αναποτελεσματικότητα εδώ οφείλεται στη βιαστική αναφορά σε χρήσεις και εφαρμογές συγκεκριμένων νανοϋλικών. Το κερύ νανοτεχνολογίας για επικάλυψη (nano-coating) παρμπρίζ αυτοκινήτων και το σπρέϋ παπουτσιών για αυτοκαθαρισμό και αδιαβροχοποίηση που αναφέρθηκαν ως εφαρμογές φαίνεται ότι δε συγκρατήθηκαν από οι μαθήτριες και οι μαθητές. Θα μπορούσε εδώ να είχαν ανατεθεί στις μαθήτριες και τους μαθητές εργασίες αναζήτησης νανο-υλικών με προσανατολισμένη διερεύνηση (Σπύρτου και συνεργάτες, 2018, σελ. 45) αν υπήρχε επιπλέον διδακτικός χρόνος.

5.2.6: Για τις αρχικές ιδέες των μαθητριών και των μαθητών

Η ανίχνευση και η καταγραφή των αρχικών απόψεων των μαθητριών και των μαθητών δεν περιλαμβάνεται ρητά στους στόχους της εργασίας αυτής. Ωστόσο επειδή αποτελούν κομβικό σημείο στο σχεδιασμό μιας αποτελεσματικής διδασκαλίας θα καταθέσουμε εδώ μερικούς προβληματισμούς. Ενδεικτικά τα ευρήματά μας, για το φαινόμενο gecko, από το δείγμα των δεκατριών μαθητριών και μαθητών 5/13 αποδίδουν σε κάποια κολλώδη ουσία την ικανότητα της σαύρας να προσκολλάται σε διάφορες επιφάνειες υπερνικώντας τη βαρύτητα, 3/13 σε βεντούζες, 2/13 στην κατασκευή της επιφάνειας του πέλματος της σαύρας γενικά ενώ αναφέρθηκε και η τριβή. Όπως προκύπτει από τα δεδομένα που αντλήσαμε από τη Σακελλάρη, 2019 από τη Ρόγκου, 2018 και από το Μάνου, 2019 τα ευρήματά μας φαίνεται να συμφωνούν αδρά με τα συμπεράσματα των περιορισμένων ερευνών στον τομέα αυτό για την Πρωτοβάθμια και Τριτοβάθμια Εκπαίδευση στην Ελλάδα και για τη Δευτεροβάθμια στις ΗΠΑ. Φαίνεται ότι μαθητές αποδίδουν την ικανότητα της σαύρας Γκέκο στα φυσικά της χαρακτηριστικά που είναι ορατά στην μακροκλίμακα (Αλεξίου, Πέικος & Μάνου, 2017). Το ίδιο συμπεραίνει και η Ρόγκου, 2018

Αυτό μας επέτρεψε να βασιστούμε και να χρησιμοποιήσουμε σαν αφετηρία διδακτικά μετασχηματισμένο υλικό που έχει χρησιμοποιηθεί με επιτυχία στην Πρωτοβάθμια Εκπαίδευση διατηρώντας μια σχετική αβεβαιότητα για την αποτελεσματικότητά του στη Δευτεροβάθμια. Άλλωστε αυτός ήταν και ο βασικός σκοπός της εργασίας.

5.3: Συμπεράσματα και προτάσεις

Τα θετικότερα αποτελέσματα της εφαρμογής των διδασκαλιών εντοπίστηκαν στο φαινόμενο της σαύρας γκέκο αφού εννέα (9/13) απαντήσεις οι οποίες αρχικά ταξινομήθηκαν στα επίπεδα E0 και E1 μετατοπίστηκαν προς την επιστημονική άποψη στο επίπεδο E2.

Μικρή βελτίωση στις αρχικές τοποθετήσεις των μαθητριών και των μαθητών σημειώθηκε ως προς το μέγεθος και την κλίμακα αφού τρεις απαντήσεις (3/13) μετατοπίστηκαν από το επίπεδο E0 στο επίπεδο E3 ενώ έξι (6/13) απαντήσεις παρέμειναν σταθερά λανθασμένες στο επίπεδο E2.

Στη νοηματοδότηση του όρου «Νανοεπιστήμη/Νανοτεχνολογία» παρατηρήθηκε επίσης μικρή βελτίωση αφού επτά απαντήσεις (0+7 πριν και 2+5 μετά) παρέμειναν στα επίπεδα E3 και E2 και από αυτές δύο μόνο (2/13) μετατοπίστηκαν από το E2 στο E3 επίπεδο. Οι υπόλοιπες έξι απαντήσεις παρέμειναν μακριά από την επιστημονική προσέγγιση παρά τη μετακίνηση τεσσάρων (4/13) από το E0 στο E1 επίπεδο.

Στο φαινόμενο του λωτού σημειώθηκε ελάχιστη βελτίωση καθώς μεγάλο πλήθος απαντήσεων (9/13) παρέμειναν μετά την εφαρμογή στο επίπεδο E1 μακριά από την επιστημονική άποψη και μόνο τέσσερις(4/13) μετατοπίστηκαν από τα E1 και E0 στο E2 επίπεδο. Σχεδόν καμία μεταβολή δεν έφερε η εφαρμογή της διδασκαλίας στη γνώση συγκεκριμένων νανοϋλικών και των εφαρμογών τους.

Σχετικά με την αποτελεσματικότητα της ΔΜΣ ο προβληματισμός προϋπήρξε της ίδιας της εφαρμογής όπως έχει αναφερθεί και στο κεφάλαιο 2 (παρ. 2.7.1). Η ΔΜΣ σχεδιάστηκε για να εφαρμοστεί σε δια ζώσης διδασκαλίες. Τελικά εφαρμόστηκε σε συνθήκες τηλεκπαίδευσης. Έτσι αποπλαισιώθηκε από τα εργαλεία και τις σχέσεις που αναμενόταν να την υποστηρίξουν και έγιναν βεβιασμένες προσαρμογές τελευταίας στιγμής που απ' ότι φαίνεται δε λειτούργησαν στο νέο πλαίσιο. Μερικά παραδείγματα είναι τα εξής:

α) η μηδενική οπτική επαφή των μαθητριών και των μαθητών μεταξύ τους και με τη διδάσκουσα δεν επέτρεπε αντιδράσεις ούτε αλληλεπίδραση σε πραγματικά δεδομένα και σε πραγματικό χρόνο,

β) οι δυσκολίες στη διαχείριση του χρόνου (με τα τεχνικά προβλήματα ήχου και την αδυναμία λειτουργίας παράλληλων σταθμών εργασίας και ομάδων) δεν επέτρεπαν έναν αποδοτικό ρυθμό στις ομαδικές διερευνητικές εργασίες. Αυτές είτε δόθηκαν ως ατομικές εργασίες στο σπίτι ή στη διάρκεια των διδασκαλιών είτε διεκπεραιώθηκαν με προσπάθεια ομαδικής συζήτησης αλλά με μειωμένη συμμετοχή των μαθητριών και των μαθητών.

γ) η συμμετοχή των μαθητριών και των μαθητών ήταν υποτονική με νωχελική διάθεση και με ενδείξεις και ομολογίες κούρασης λόγω των πολλών ωρών τηλεκπαίδευσης. Οι συνθήκες αυτές εισήγαγαν απρόβλεπτες παραμέτρους στην ερευνητική διαδικασία και οπωσδήποτε περιορίζουν την αξιοπιστία της εργασίας όπως αναφέρθηκε στο κεφ. 2.6.

Παρά τα παραπάνω επισημάνθηκαν ορισμένες πλευρές που υποθέτουμε ότι θα μπορούσαν να είχαν προσεγγιστεί διαφορετικά από διδακτικής πλευράς και να είχαν επιφέρει θετικότερα αποτελέσματα:

α) η συμπλήρωση και η ανάλυση των αποτελεσμάτων του pre ερωτηματολογίου θα μπορούσε να είχε γίνει σε σημαντικά προγενέστερο χρόνο και να ληφθούν πιο καίρια υπόψη τα δεδομένα στο σχεδιασμό της ΔΜΣ. Για παράδειγμα οι προϋπάρχουσες γνώσεις που αποκαλύφθηκαν για το μέγεθος και την κλίμακα (βλ. παρ. 5.2.2) θα μπορούσαν να οδηγήσουν σε πιο στοχευμένη διατύπωση του αντίστοιχου στόχου

β) θα μπορούσε να έχει γίνει μείωση του περιεχομένου με έμφαση σε δραστηριότητες εμπάθυνας με χρήση του επιστημονικού λεξιλογίου(βλ. παρ. 5.2.4 και 5.2.5

γ) οι διδακτικοί στόχοι θα μπορούσε να είχαν προσεγγιστεί περισσότερο αφαιρετικά και πιο εστιασμένοι στα ερευνητικά ερωτήματα και στις λέξεις-κλειδιά και να αφορούσαν σε λιγότερους επιστημονικούς όρους.

Τέλος, ως προς την ανάδειξη και καταγραφή των ι.μ. στη βιβλιογραφία που ανατρέξαμε δε συναντήσαμε δεδομένα για τη Δευτεροβάθμια εκπαίδευση στην Ελλάδα. Αυτό αποτέλεσε μια δυσκολία στο σχεδιασμό. Ταυτόχρονα αναδεικνύει την αναγκαιότητα και προσθέτει στην αξία επόμενων ερευνών με αυτό το αντικείμενο προκειμένου να παραχθεί διδακτικό υλικό περισσότερο προσαρμοσμένο στη Δευτεροβάθμια εκπαίδευση στη χώρα μας.

Συνοψίζοντας, σύμφωνα με τα ευρήματα, η εφαρμογή της ΔΜΣ εκτιμάται ότι είχε περιορισμένη αποτελεσματικότητα. Ως εκ τούτου προτείνεται η επόμενη βελτιωμένη εφαρμογή της ΔΜΣ σε συνθήκες πραγματικής τάξης.

Βιβλιογραφία

Autumn, K., & Gravish, N. (2008). Gecko adhesion: evolutionary nanotechnology. *Philosophical Transactions of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences*, 366(1870), 1575-1590.

Bhushan, B. (2016). *Biomimetics: bioinspired hierarchical-structured surfaces for green Science and Technology*. Heidelberg, Germany: Springer.

Bhushan, B. (2012b). Fabrication and characterization of micro-, nano-, and hierarchical structured surfaces. Στο B. Bhushan, *Biomimetics: bioinspired hierarchical-structured surfaces for green science and technology* (σσ. 97-203). Heidelberg: Springer.

Bryan, L. A., Magana, A. J., & Sederberg, D. (2015). Published research on pre-college students' and teachers' nanoscale science, engineering, and technology learning. *Nanotechnology Reviews*, 4, σσ. 7-32.

Cohen, M., Manion, L., & Morrison, K. (2007). *Μεθοδολογία εκπαιδευτικής έρευνας*. (Μ. Κλαυδιανού, Επιμ.) Αθήνα: Μεταίχμιο.

Hornyak, G. L., Tibbals, H. F., Dutta, J., & Moore, J. J. (2008). *Introduction to nanoscience and nanotechnology*. Boca Raton: CRC Press.

Kumar, N., & Kumbhat, S. (2016). *Essentials in Nanoscience and Nanotechnology*. New Jersey: John Wiley & Sons.

Lee, M. (2014). Lotus Leaves: Humble Beauties. Στο M. Lee, *Remarkable Natural Material Surfaces and Their Engineering Potential* (σσ. 53-63). Springer, Cham.

Méheut, M., & Psillos, D. (2004). Teaching–learning sequences: aims and tools for science education research. *International Journal of Science Education*, 26, σσ. 515-535.

Stevens, S. Y., Sutherland, L. M., & Krajcik, J. S. (2009). *The big ideas of nanoscale science and engineering*. Arlington, VA.: NSTA press.


Kubiak, K. J., Wilson, M. C., Mathia, T. G., & Carval, P. (2011). Wettability versus roughness of engineering surfaces. *Wear*, 271, σσ. 523-528.

Αλεξίου, Δ., Πέικος, Γ., & Μάνου, Λ. (2017). *Οι ιδέες μαθητών Δημοτικού Σχολείου για φαινόμενα της φύσης στην κλίμακα του νάνο: το φαινόμενο του λωτού και της σαύρας gecko*. Στο Δ. Σταύρου, Α. Μιχαηλίδη, & Α. Κοκολάκη, *Πρακτικά 10ου Πανελληνίου Συνεδρίου Διδακτικής των Φυσικών Επιστημών και Νέων Τεχνολογιών στην Εκπαίδευση – Γεφυρώνοντας το Χάσμα μεταξύ Φυσικών Επιστημών, Κοινωνίας και Εκπαιδευτικής Πράξης* (σσ. 868-873). Ρέθυμνο: ΠΤΔΕ, Πανεπιστήμιο Κρήτης.

- Μάνου, Λ. (2020). *Ανάπτυξη και αξιολόγηση διδακτικών μαθησιακών σειρών για την εκπαίδευση εκπαιδευτικών στη νανοτεχνολογία* (Doctoral dissertation, Πανεπιστήμιο Δυτικής Μακεδονίας. Σχολή Κοινωνικών και Ανθρωπιστικών Επιστημών. Τμήμα Παιδαγωγικό Δημοτικής Εκπαίδευσης).
- Πέικος, Γ., Μάνου, Λ. & Σπύρτου, Α. (2015). *Σχεδιασμός και ανάπτυξη εκπαιδευτικού υλικού για τη διδασκαλία της νανοτεχνολογίας στο δημοτικό σχολείο*. Πιλοτική εφαρμογή. Στο Χ. Σκουμπουρδή & Μ. Σκουμιός (Επμ.), *Πρακτικά του 1ου Πανελληνίου Συνεδρίου με Διεθνή Συμμετοχή «Ανάπτυξη Εκπαιδευτικού Υλικού στα Μαθηματικά και τις Φυσικές Επιστήμες»*, (σσ. 327-346). Ρόδος: Σχολή Ανθρωπιστικών Επιστημών του Πανεπιστημίου Αιγαίου
- Πέικος, Γ. (2016). *Σχεδιασμός, ανάπτυξη και αξιολόγηση διδακτικής μαθησιακής ακολουθίας για τη διδασκαλία του περιεχομένου της νανοεπιστήμης-νανοτεχνολογίας στο δημοτικό σχολείο*. Φλώρινα: Πανεπιστήμιο Δυτικής Μακεδονίας, Παιδαγωγικό.
- Πετρίδου, Ε., & Ψύλλος, Δ. (2008). Οι αντιλήψεις των υποψηφίων δασκάλων για τα μοντέλα. *Θέματα Επιστημών και Τεχνολογίας στην Εκπαίδευση, 1*, σσ. 255-268.
- 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*.
- Σακελλάρη, Κ., & Μάνου, Λ. (2017, March). Η εισαγωγή φαινομένων της κλίμακας του νανοστο Δημοτικό σχολείο: Η περίπτωση της σαύρας gecko. *In 10ο Πανελλήνιο Συνέδριο ΔΙΔΑΚΤΙΚΗΣ ΤΩΝ ΦΥΣΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ ΚΑΙ ΝΕΩΝ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΩΝ ΣΤΗΝ ΕΚΠΑΙΔΕΥΣΗ*.
- Σακελλάρη, Κ. (2016). *Προσεγγίζοντας διερευνητικά φαινόμενα της κλίμακας του Νάνο στο Δημοτικό Σχολείο*.
- Σακελλάρη, Κ. (2019). *Το φαινόμενο της σαύρας Γκέκο στην κλίμακα του νάνο: πειραματικό περιβάλλον μικτής πραγματικότητας στο Δημοτικό Σχολείο*.
- Σπύρτου, Α., Μάνου, Λ., Πέικος, Γ., & Παπαδοπούλου, Π. (2018). *Διερευνώντας τα μυστικά του νανόκοσμου*. Αθήνα: Gutenberg.

Παράρτημα

- Το Φ.Ε.-1 για το φαινόμενο της σαύρας γκέκο

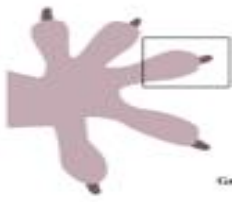
ΒΙΟΜΙΜΗΤΙΣΜΟΣ – ΦΑΙΝΟΜΕΝΟ ΣΑΥΡΑΣ GECKO	
<p>Φύλλο Εργασίας-1: Τι είδους δυνάμεις κρατούν τη σαύρα ‘κολλημένη’ στην επιφάνεια; -Γιατί και πότε εμφανίζονται;</p>	
<p>Έχεις στη διάθεσή σου:</p>	
<p>-ένα άρθρο με τίτλο ‘Σαμιαμίδι-Μυστικά που κολλάνε’: http://atmitos.gr/samiamidi-mistika-pou-kollane/ και</p>	
<p>-ένα βίντεο διάρκειας 4’ και 30’’ με τίτλο ‘How do geckos defy gravity’: https://www.youtube.com/watch?v=YeSuQm7KfaE&t=181s</p>	
<p>Με βάση τα παραπάνω απάντησε στα εξής ερωτήματα:</p>	
<p>1. Πως λέγονται οι δυνάμεις που κρατούν τη σαύρα ‘κολλημένη’ στην επιφάνεια;</p>	
<p>2. Μεταξύ ποιων σωματιδίων εμφανίζονται;</p>	
<p>3. Πότε και γιατί εμφανίζονται;</p>	
<p>4. Σε ποια κλίμακα νομίζεις ότι εμφανίζονται οι δυνάμεις van der Waals; (μια επιλογή)</p>	
<p>μακροκλίμακα μικροκλίμακα νανοκλίμακα ατομική κλίμακα</p>	

- Το Φ.Ε.-2 για το φαινόμενο της σαύρας γκέκο


ΒΙΟΜΙΜΗΤΙΣΜΟΣ – ΦΑΙΝΟΜΕΝΟ ΣΑΥΡΑΣ GECKO

Φύλλο Εργασίας-2: Ιεραρχική δομή στο πέλμα της σαύρας

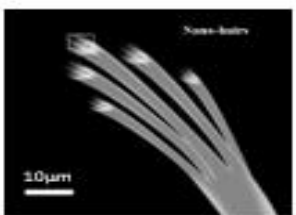
Με βάση το βίντεο με τίτλο ‘How do geckos defy gravity’: <https://www.youtube.com/watch?v=YeSuQm7KfaE&t=181s> και τις πληροφορίες από τις παρακάτω εικόνες να περιγράψεις σύντομα τη δομή που έχει η επιφάνεια στο πέλμα της σαύρας.



Gecko Foot

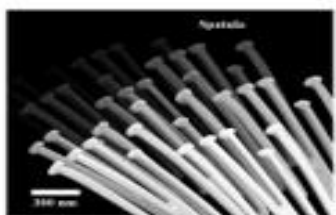


Gecko toe



Spatula

10 μm

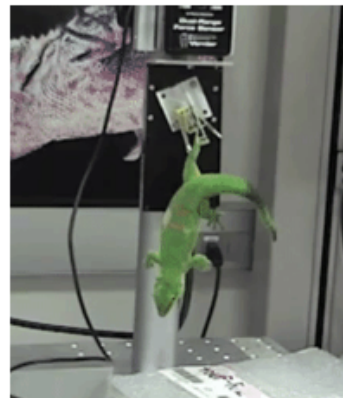


Seta

100 nm

- Το Φ.Ε.-από τη σύμπτυξη των 1 & 2 για το φαινόμενο της σαύρας γκέκο

Φύλλο Εργασίας: Τι είδους δυνάμεις κρατούν τη σαύρα 'κολλημένη' στην επιφάνεια; -Γιατί και πότε εμφανίζονται;



Έχεις στη διάθεσή σου:

-ένα άρθρο με τίτλο 'Σαμιαμίδι-Μυστικά που κολλάνε':

<http://atmitos.gr/samiamidi-mistika-pou-kollane/> και

-ένα βίντεο διάρκειας 4' και 30'' με τίτλο 'How do geckos defy gravity':

<https://www.youtube.com/watch?v=YeSuQm7KfaE&t=181s>

Με βάση τα παραπάνω απάντησε στα εξής ερωτήματα:

1. Πως λέγονται οι δυνάμεις που κρατούν τη σαύρα 'κολλημένη' στην επιφάνεια;
2. Μεταξύ ποιων σωματιδίων εμφανίζονται;
3. Πότε και γιατί εμφανίζονται;
4. Να περιγράψεις σύντομα τη δομή που έχει η επιφάνεια στο πέλμα της σαύρας.

Το Φ.Ε. από τη σύμπτυξη των φ.ε.-1 και φ.ε.-2 για τη γκέκο: δόθηκε στις μαθήτριες και τους μαθητές αντί των φ.ε.-1 και φ.ε.-2 που είχαν ετοιμαστεί αρχικά

- Το Φ.Ε.-3 για το φαινόμενο της σαύρας γκέκο

ΒΙΟΜΙΜΗΤΙΣΜΟΣ – ΦΑΙΝΟΜΕΝΟ ΣΑΥΡΑΣ GECKO

Φύλλο Εργασίας-3 : Πως οι gecko πετυχαίνουν τόσο ισχυρή προσκόλληση;

Οι δυνάμεις van der Waals μεταξύ δύο μορίων είναι εξαιρετικά ασθενείς. Όμως η gecko πετυχαίνει εξαιρετικά ισχυρή προσκόλληση. Πως γίνεται αυτό;

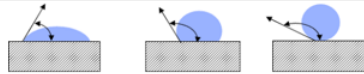
Από το βίντεο 'How do geckos defy gravity': <https://www.youtube.com/watch?v=YeSuQm7KfaE&t=181s> παρακολουθείστε το απόσπασμα από το 2.18 έως το 3.31 και απαντήστε στο ερώτημα.

Αναπτύξτε την απάντησή σας γύρω από τις φράσεις-κλειδιά: **επιφάνεια επαφής** και **γωνία επαφής**

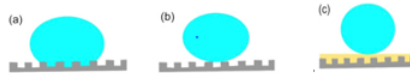
- **Το Φ.Ε.-1 για το φαινόμενο του λωτού**

Φύλλο Εργασίας 1: Η προσκόλληση της σταγόνας νερού σε διάφορες επιφάνειες μέσα από επιστημονικά μοντέλα

1. Σε ποια από τις 3 επιφάνειες έχουμε τη μικρότερη προσκόλληση της σταγόνας; Γιατί;



2. Παρατηρείτε τώρα το παρακάτω σχήμα. Ποια η βασική διαφορά του από το προηγούμενο σχήμα;



3. Παρατηρούμε προσεκτικά και γράφουμε σε τί διαφέρουν το σχήμα (a) από το (b);
4. Παρατηρούμε προσεκτικά και γράφουμε σε τί διαφέρουν το σχήμα (b) από το (c);
5. Τι συμπέρασμα βγάζετε για την προσκόλληση της σταγόνας στις (a), (b), (c) επιφάνειες;
6. Αν αρχίσουμε να δίνουμε κλίση στις επιφάνειες σε ποια περίπτωση η σταγόνα θα καταρακλήσει ευκολότερα; Γιατί;
7. Ποιο θεωρείτε πιο πιθανό να περιγράψει την επιφάνεια του λωτού; Γιατί;

- **Το Φ.Ε.-2 για το φαινόμενο του λωτού**

ΒΙΟΜΙΜΗΤΙΣΜΟΣ – ΦΑΙΝΟΜΕΝΟ ΤΟΥ ΛΩΤΟΥ

Φύλλο Εργασίας 2: Η ιεραρχική δομή της επιφάνειας στο φύλλο του λωτού μέσα από τα μικροσκόπια

Με τις πληροφορίες από το αρχείο ppt και από τη συζήτηση στην ηλεκτρονική τάξη και με τη βοήθεια του παρακάτω βίντεο

Zoom Into a Lotus Leaf : <https://www.youtube.com/watch?v=X9a6LjCprC8> να

Εικόνα χ : Φ.Ε.-2 για λωτό

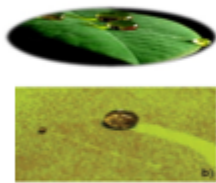
1. Ποιες διακριτές δομές διαπιστώνουν οι επιστήμονες στην επιφάνεια του φύλλου του λωτού; (επιγραμματικά)
2. Ποιες είναι οι διαστάσεις κάθε δομής; (ξεκινήστε από το φύλλο του λωτού και μετά με τις μικρότερες δομές)
3. Με ποιο όργανο μπορούμε να παρατηρήσουμε κάθε μια από αυτές τις δομές;
4. Γιατί η δομή στο φύλλο του λωτού λέγεται **ιεραρχική**;

- Το Φ.Ε.-3 για το φαινόμενο του λωτού

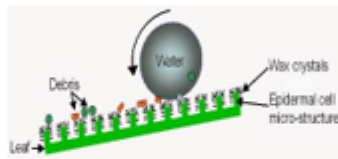
ΒΙΟΜΙΜΗΤΙΣΜΟΣ – ΦΑΙΝΟΜΕΝΟ ΤΟΥ ΛΩΤΟΥ

Φύλλο Εργασίας 3: αυτοκαθαρισμός και προσκόλληση

1. Γράψτε ένα μικρό κείμενο το πολύ 8-10 γραμμές σχετικά με ότι βλέπετε στα



(α) με γυμνό μάτι



(β) με επιστημονικό μοντέλο



<https://youtu.be/O6vrVbXl>

(γ) με το μικροσκόπιο

2. Στο σχήμα (β) νομίζετε ότι οι δυνάμεις van der Waals είναι πιο αποτελεσματικές:
 - i. Ανάμεσα στα σκουπιδάκια και τη σταγόνα;
 - ii. Ανάμεσα στα σκουπιδάκια και την επιφάνεια του φύλλου;
 - iii. Ανάμεσα στη σταγόνα και τις νανοπροεξοχές στο φύλλο του λωτού;
 Αιτιολογήστε την απάντησή σας

- Το ερωτηματολόγιο αρχικής και τελικής μέτρησης

Ερωτηματολόγιο

Οι απαντήσεις στο ερωτηματολόγιο που ακολουθεί θα βοηθήσουν σε έρευνα που γίνεται για την εισαγωγή μοντέρνων θεμάτων Φυσικής στα σχολικά βιβλία. Θέλουμε να είναι όσο πιο αυθόρμητες γίνεται: Απαντήστε με ό,τι σας έρχεται πρώτο στο μυαλό! Για να απαντηθούν χρειάζονται περίπου 15 λεπτά και είναι ανώνυμες.

* Απαιτείται

1. 1. φύλο *

Να επισημαίνεται μόνο μία έλλειψη.

- αγόρι
 κορίτσι

2. 2. Έχεις ακούσει τον όρο Νανοεπιστήμη/Νανοτεχνολογία; *

Να επισημαίνεται μόνο μία έλλειψη.

- ναι
 όχι

3. 3. Αν ναι που έχεις συναντήσει τον όρο αυτό:

4. 4. α. Τι νομίζεις εσύ ότι είναι η Νανοεπιστήμη/Νανοτεχνολογία; β. Γράψε ένα με δύο παραδείγματα που νομίζεις ότι έχουν σχέση με τη Νανοεπιστήμη/Νανοτεχνολογία. *

5. 5. α. Τοποθέτησε κατά σειρά μεγέθους από το μεγαλύτερο προς το μικρότερο τα εξής τέσσερα αντικείμενα: κύτταρο, άτομο υδρογόνου, τρίχα(το πάχος της), ιός β. Αιτιολόγησε την απάντησή σου *

6. 6. Οι σαύρες έχουν την ικανότητα να στέκονται ανάποδα σε επιφάνειες χωρίς να πέφτουν. Πως νομίζεις ότι το καταφέρνουν αυτό; *

7. 7. Σε ποια επιφάνεια ή ποιες επιφάνειες νομίζεις ότι μπορεί να σταθεί ανάποδα η σαύρα χωρίς να πέφτει; Τσέκαρε μια ή περισσότερες επιφάνειες *

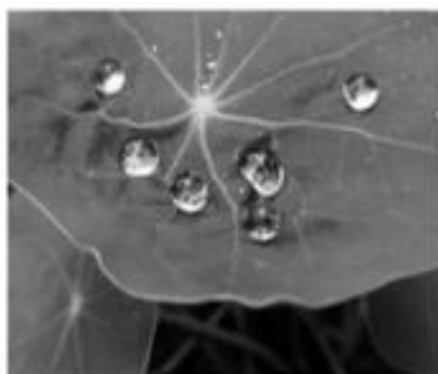
Επιλέξτε όλα όσα ισχύουν.

- ξύλινη επιφάνεια
 καλογουαλισμένο γυαλί
 τοίχο
 σιδερένια επιφάνεια

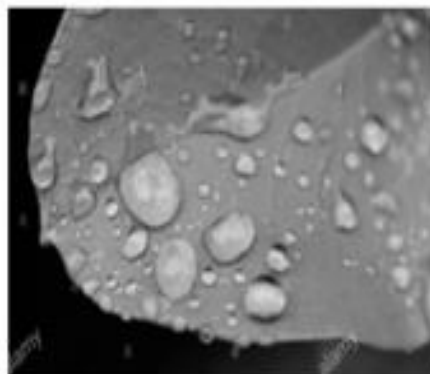
Άλλο: _____

8. 8. Γιατί διάλεξες αυτήν ή αυτές τις επιφάνειες; *

9. 9. Στις παρακάτω εικόνες φαίνονται σταγόνες νερού πάνω στις επιφάνειες δύο φύλλων. α. Περιγράψε το σχήμα της σταγόνας σε κάθε περίπτωση β. Που νομίζεις ότι οφείλεται η διαφορά στο σχήμα των δύο σταγόνων; *



Εικ.1



Εικ.2

10. 11. Γνωρίζεις κάποιο παράδειγμα νανοϋλικών; *

Να επισημαίνεται μόνο μία έλλειψη.

ναι

Όχι

11. 12. Αν γνωρίζεις κάποια νανοϋλικά ποια είναι αυτά; Και που χρησιμοποιούνται;

Ευχαριστώ πολύ για το χρόνο σου!!

Αυτό το περιεχόμενο δεν έχει δημιουργηθεί και δεν έχει εγκριθεί από την Google.