



Σχολή Επιστημών Υγείας και Πρόνοιας

Τμήμα Βιοϊατρικών Επιστημών

Σχολή Διοικητικών, Οικονομικών και Κοινωνικών Επιστημών

Τμήμα Αγωγής και Φροντίδας στην Πρώιμη Παιδική Ηλικία



Παιδαγωγικό τμήμα



Διδρυματικό Πρόγραμμα Μεταπτυχιακών Σπουδών

**Παιδαγωγική μέσω Καινοτόμων Τεχνολογιών και Βιοϊατρικών**

**Προσεγγίσεων**

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**Πρόταση παρουσίασης εφαρμογών της Νανοτεχνολογίας  
στην Α/θμια Εκπαίδευση**

POST GRADUATE THESIS

**Proposal for presenting Nanotechnology applications  
in Primary Education**

ΟΝΟΜΑ ΦΟΙΤΗΤΗ/NAME OF STUDENT

**Κουτρουμάνος Κωνσταντίνος/ Koutroumanos Konstantinos**

ΟΝΟΜΑ ΕΙΣΗΓΗΤΗ/NAME OF THE SUPERVISOR

**Μπέλεση Βασιλική/ Belessi Vassiliki**

ΑΙΓΑΛΕΩ/ΑΙΓΑΛΕΟ 2021



Faculty of Health and Caring Professions  
Department of Biomedical Sciences  
Faculty of Administrative, Financial and Social Sciences  
Department of Early Childhood Education and Care



Department of Pedagogy



Inter-Institutional Post Graduate Program  
**Pedagogy through innovative Technologies and Biomedical approaches**

POST GRADUATE THESIS

## **Proposal for presenting Nanotechnology applications in Primary Education**

Koutroumanos Konstantinos

19043

koskoutroumanos@gmail.com

FIRST SUPERVISOR

Belessi Vassiliki

SECOND SUPERVISOR

Meidassi Athanasia

AIGALEO 2021

## **Δήλωση συγγραφέα μεταπτυχιακής εργασίας**

Ο κάτωθι υπογεγραμμένος Κουτρομάνος Κωνσταντίνος του Γεωργίου, με αριθμό μητρώου 19043 φοιτητής του Διδρυματικού Προγράμματος Μεταπτυχιακών Σπουδών Παιδαγωγική μέσω Καινοτόμων Τεχνολογιών και Βιοϊατρικών Προσεγγίσεων των Τμημάτων Βιοϊατρικών Επιστημών/ Τμήμα Αγωγής και Φροντίδας στην Πρώιμη Παιδική Ηλικία/Παιδαγωγική τμήμα των Σχολών Επιστημών Υγείας και Πρόνοιας/Σχολή Διοικητικών, Οικονομικών και Κοινωνικών Επιστημών του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής και της Ανώτατης Σχολής Παιδαγωγικής και Τεχνολογικής Εκπαίδευσης, δηλώνω ότι:

«Είμαι συγγραφέας αυτής της μεταπτυχιακής εργασίας και ότι κάθε βοήθεια την οποία είχα για την προετοιμασία της, είναι πλήρως αναγνωρισμένη και αναφέρεται στην εργασία. Επίσης, οι όποιες πηγές από τις οποίες έκανα χρήση δεδομένων, ιδεών ή λέξεων, είτε ακριβώς είτε παραφρασμένες, αναφέρονται στο σύνολό τους, με πλήρη αναφορά στους συγγραφείς, τον εκδοτικό οίκο ή το περιοδικό, συμπεριλαμβανομένων και των πηγών που ενδεχομένως χρησιμοποιήθηκαν από το διαδίκτυο. Επίσης, βεβαιώνω ότι αυτή η εργασία έχει συγγραφεί από μένα αποκλειστικά και αποτελεί προϊόν πνευματικής ιδιοκτησίας τόσο δικής μου, όσο και του Ιδρύματος. Παράβαση της ανωτέρω ακαδημαϊκής μου ευθύνης αποτελεί ουσιώδη λόγο για την ανάκληση του πτυχίου μου».

Όνομα φοιτητή

Κουτρομάνος Κωνσταντίνος

## **Ευχαριστίες**

Θα ήθελα να ευχαριστήσω την κα. Βασιλική Μπέλεση, Αναπλ. Καθηγήτρια Υλικών Γραφικών Τεχνών και Υλικών Τεχνολογίας Περιβάλλοντος, Α' επιβλέπουσα στη διπλωματική μου εργασία, για την πολύτιμη βοήθεια που μου προσέφερε στην εκπόνηση της εργασίας μου, καθώς για την ευκαιρία που μου έδωσε να ασχοληθώ με ένα τόσο ενδιαφέρον αντικείμενο όπως η Νανοτεχνολογία.

## **Αφιερώσεις**

*Σε όλους όσους μου έδωσαν κίνητρο να συνεχίσω κάθε στιγμή που θεωρούσα πως βρίσκομαι σε αδιέξοδο.*

## Περίληψη

Η παρούσα διπλωματική εργασία έχει ως στόχο να παρουσιάσει μια πρόταση από δραστηριότητες, βασισμένες κυρίως σε πειράματα, με τις οποίες μπορούν να παρουσιαστούν διάφορες εφαρμογές της επιστήμης της Νανοτεχνολογίας στο Δημοτικό σχολείο. Τις δύο τελευταίες δεκαετίες, η Νανοτεχνολογία έχει προσελκύσει έντονα το ενδιαφέρον των ερευνητών, αφού το πλήθος των εφαρμογών της αυξάνεται με αμείωτο ρυθμό έως σήμερα, ενώ ταυτόχρονα αναδεικνύονται συνεχώς νέοι τομείς εφαρμογών. Παρ' όλα αυτά, έχει παρατηρηθεί από διάφορες έρευνες, πως οι μαθητές της Α/θμιας Εκπαίδευσης παρουσιάζουν ελάχιστες γνώσεις σχετικά με τη Νανοτεχνολογία και τις εφαρμογές της. Θα είχε ενδιαφέρον, λοιπόν, να δούμε πως θα μπορούσαμε να τους φέρουμε σε επαφή με τέτοιες εφαρμογές.

Στο πρώτο μέρος της εργασίας παρουσιάζονται γενικά στοιχεία γύρω από τον τομέα της Νανοτεχνολογίας και γίνεται μια ιστορική αναδρομή. Παρά το γεγονός ότι ο όρος «Νανοτεχνολογία» έχει κάνει την εμφάνισή του τα τελευταία χρόνια, εφαρμογές της παρατηρούνται από την αρχαιότητα, κάποιες από τις οποίες παρουσιάζονται στην εργασία, καθώς έχουν αποτελέσει αντικείμενο μελέτης των επιστημόνων για πολλές δεκαετίες αποτελώντας τα θεμέλια της σημερινής Νανοτεχνολογίας. Γίνεται, επίσης, αναφορά στα νανοδομημένα υλικά και τις κατηγορίες τους, τις ιδιότητές τους, καθώς και το ευρύτατο πεδίο των εφαρμογών τους. Νανοϋλικά, καθώς και ιδιότητες νανοϋλικών και νανοδομών συναντάμε στη φύση, σε φυτικούς και ζωικούς οργανισμούς καθώς και στον ίδιο τον άνθρωπο. Τέλος, παρουσιάζονται εφαρμογές της Νανοτεχνολογίας σε διάφορους επιστημονικούς τομείς, όπως στον τομέα της ηλεκτρονικής, της ενέργειας και της προστασίας του περιβάλλοντος, στη βιομηχανία αυτοκινήτων, τροφίμων και συσκευασίας, καθώς και στον τομέα της ιατρικής.

Στο δεύτερο μέρος της εργασίας γίνεται βιβλιογραφική ανασκόπηση ερευνητικών προσπαθειών που έχουν πραγματοποιηθεί σε εθνικό και διεθνές επίπεδο, σχετικά με την ένταξη της Νανοτεχνολογίας στην εκπαίδευση, τις ιδέες των μαθητών του Δημοτικού σχολείου σχετικά με τη Νανοτεχνολογία, καθώς και σε προσπάθειες ανάπτυξης εκπαιδευτικού υλικού για τη διδασκαλία της Νανοτεχνολογίας στην Α/θμια Εκπαίδευση. Γίνεται αναφορά στη μέθοδο που ακολουθήθηκε και τα αποτελέσματα κάθε έρευνας, στις εφαρμογές που παρουσιάστηκαν, καθώς και στον τρόπο με τον οποίο

προσεγγίστηκαν. Επίσης, αναφέρονται συγκεκριμένες προσπάθειες παρουσίασης εφαρμογών Νανοτεχνολογίας για παιδιά ηλικίας δημοτικού, που έχουν πραγματοποιηθεί στα πλαίσια της Άτυπης και μη-Τυπικής Εκπαίδευσης τόσο στην Ελλάδα όσο και στο εξωτερικό.

Στο τρίτο μέρος, παρουσιάζονται δραστηριότητες, βασισμένες κυρίως σε πειράματα, μέσα από τις οποίες οι μαθητές των μεγάλων τάξεων της Α/θμιας Εκπαίδευσης μπορούν να γνωρίσουν τη Νανοτεχνολογία, να έρθουν σε επαφή με εφαρμογές της και να γνωρίσουν υλικά νανοκλίμακας και τις ιδιότητές τους. Οι δραστηριότητες που έχουν επιλεγεί, έχουν δομηθεί με τέτοιο τρόπο έτσι ώστε να προκαλούν το ενδιαφέρον των μαθητών, να προωθούν την εμπλοκή τους στις δράσεις, τη βιωματική μάθηση και συνεργασία και να προάγουν το ομαδικό πνεύμα.

Τέλος, στο τέταρτο και τελευταίο μέρος παρουσιάζονται τα συμπεράσματα και οι προοπτικές της παρούσας διπλωματικής εργασίας και αναφέρονται συγκεκριμένες προτάσεις για το πώς εφαρμογές της Νανοτεχνολογίας μπορούν να παρουσιαστούν σε τάξεις του Δημοτικού σχολείου, είτε στα πλαίσια του Αναλυτικού Προγράμματος της Φυσικής στην Α/θμια Εκπαίδευση, είτε ως ξεχωριστό πρότζεκτ Νανοτεχνολογίας. Κλείνοντας, γίνεται αναφορά στις αντικειμενικές δυσκολίες που μπορούν να παρουσιαστούν κατά την εφαρμογή της συγκεκριμένης πρότασης παρουσίασης εφαρμογών Νανοτεχνολογίας στην Α/θμια Εκπαίδευση, οι οποίες λήφθηκαν υπόψη κατά τον σχεδιασμό των δραστηριοτήτων και γίνονται συγκεκριμένες προτάσεις αντιμετώπισης των δυσκολιών αυτών.

Λέξεις κλειδιά: Νανοτεχνολογία, Νανοεπιστήμη, Εφαρμογές Νανοτεχνολογίας, Α/θμια Εκπαίδευση, Δημοτικό Σχολείο

## **Abstract**

This post graduate thesis aims to present a proposal of activities, based mainly on experiments, by which various applications of the science of Nanotechnology can be integrated in Primary school. Nanotechnology in the last two decades has strongly attracted the interest of researchers, since the number of its applications is growing at an unabated pace to date, while at the same time new areas of application are constantly emerging. Nevertheless, it has been observed from various studies that Primary school students have little knowledge about Nanotechnology and its applications. It would be interesting, then, to see how we could bring them into contact with such applications.

The first part of the study presents general data around the field of Nanotechnology and will be a historical review. Although the term "Nanotechnology" has appeared in recent years, its applications have been observed since antiquity, some of which are presented in this paper, as they have been studied by scientists for many decades, forming the foundations of today's Nanotechnology. Reference is also made to nanostructured materials and their categories, their properties, as well as the wide range of their applications. Nanomaterials, as well as properties of nanomaterials and nanostructures are found even in nature, in plant and animal organisms as well as in human himself. Finally, applications of Nanotechnology are presented in various scientific fields, such as in the field of electronics, energy and environmental protection, in the automotive, food and packaging industries, as well as in the field of medicine.

In the second part is made a bibliographic review of research efforts made at national and international level, regarding the integration of Nanotechnology in education, the ideas of primary school students about Nanotechnology, as well as efforts to develop educational material for teaching of Nanotechnology in Primary Education. Reference is made to the method followed and the results of each research, to the applications presented, as well as to the way in which they were approached. Also, specific efforts are presented about Nanotechnology applications for primary school children, which have been carried out in the framework of Informal and Non-Formal Education both in Greece and abroad.

In the third part, activities are presented, based mainly on experiments, through which the students of the upper grades of Primary Education can get touch with



Nanotechnology, come in contact with its applications and get to know nanoscale materials and their properties. The selected activities are structured in such a way as to increase students' interest, promote their involvement in actions, experiential learning, collaboration and team spirit as well.

Finally, in the fourth and last part, are presented the conclusions and perspectives of the present paper. Specific suggestions are given for how applications of Nanotechnology can be presented in primary school classrooms, either in the framework of the Physics Curriculum in Primary Education, or as a separate interdisciplinary Nanotechnology project. In closing, reference is made to the objective difficulties that may arise during the implementation of this proposal for the presentation of Nanotechnology applications in Primary Education, which were taken into account during the planning of activities and specific proposals are made to address these difficulties.

**Keywords:** Nanotechnology, Nanoscience, Nanotechnology Applications, Primary Education, Primary School

## Περιεχόμενα

Δήλωση συγγραφέα μεταπτυχιακής εργασίας.....	iii
Ευχαριστίες.....	iv
Αφιερώσεις.....	v
Περίληψη.....	vi
Abstract .....	viii
Συνομογραφίες .....	xii
Πρόλογος.....	1
Κεφάλαιο 1. Εισαγωγή στη Νανοτεχνολογία.....	4
1.1. Τι είναι η Νανοτεχνολογία-Ορισμός .....	4
1.2. Ιστορική Αναδρομή: Από την Αρχαιότητα στο σήμερα .....	5
1.3. Νανοϋλικά .....	10
1.3.1. Ο όρος «Νανοϋλικά» .....	10
1.3.2. Ταξινόμηση των νανοϋλικών .....	11
1.3.3. Σύνθεση Νανοϋλικών- Τεχνικές παραγωγής .....	14
1.4. Η Νανοτεχνολογία στη φύση.....	16
1.4.1. Η Νανοτεχνολογία στα Φυτά.....	17
1.4.2. Η Νανοτεχνολογία στα Ζώα και στον Άνθρωπο .....	18
1.5. Η Νανοτεχνολογία στη σημερινή πραγματικότητα .....	19
1.5.1. Εφαρμογές στην Ηλεκτρονική-Πληροφορική.....	19
1.5.2. Εφαρμογές στο Περιβάλλον και στην Ενέργεια .....	21
1.5.3. Εφαρμογές στη Βιομηχανία Αυτοκινήτων.....	24
1.5.4. Εφαρμογές στον τομέα των τροφίμων και της συσκευασίας .....	26
1.5.5. Εφαρμογές στην Ιατρική και τη Φαρμακευτική .....	27
1.5.6. Άλλες εφαρμογές .....	28
Κεφάλαιο 2. Η Νανοτεχνολογία στην Εκπαίδευση .....	30
2.1. Η αξία της Νανοτεχνολογίας στην Εκπαίδευση .....	30
2.2. Η Νανοτεχνολογία στην Τριτοβάθμια Εκπαίδευση .....	32
2.3. Η Νανοτεχνολογία στην Δευτεροβάθμια Εκπαίδευση .....	34
2.4. Η Νανοτεχνολογία στην Πρωτοβάθμια Εκπαίδευση.....	39
2.4.1. Ιδέες και γνώσεις μαθητών δημοτικού για τη Νανοτεχνολογία .....	40

2.4.2. Προσπάθειες ανάπτυξης υλικού για τη διδασκαλία Νανοτεχνολογίας στο Δημοτικό Σχολείο .....	44
2.4.3. Η Νανοτεχνολογία στην Άτυπη και μη-Τυπική Εκπαίδευση .....	49
Κεφάλαιο 3. Παρουσίαση εφαρμογών/πειραμάτων Νανοτεχνολογίας στην Α/θμια Εκπαίδευση .....	54
3.1 Η αξία του πειράματος στη διδασκαλία των Φυσικών Επιστημών .....	54
3.2 Παρουσίαση εφαρμογών Νανοτεχνολογίας με τη χρήση πειραμάτων .....	56
Κεφάλαιο 4. Συμπεράσματα-Προοπτικές-Προτάσεις .....	84
4.1 Συμπεράσματα.....	84
4.2 Προοπτικές- Προτάσεις παρουσίασης.....	85
4.3 Αντικειμενικές δυσκολίες .....	88
Βιβλιογραφικές Αναφορές.....	89
Παράρτημα.....	98

## Συντομογραφίες

	Αγγλική ορολογία	Ελληνική ορολογία
<b>NNI</b>	National Nanotechnology Initiative	Εθνική Πρωτοβουλία για τη Νανοτεχνολογία
<b>STM</b>	Scanning Tunneling Microscope	Σαρωτικό μικροσκόπιο σήραγγας
<b>OLED</b>	Organic Light-Emitting Diode	Οργανική δίοδος εκπομπής φωτός
<b>RAM</b>	Random access memory	Μνήμη τυχαίας προσπέλασης
<b>MIT</b>	Massachusetts Institute of Technology	Τεχνολογικό Ινστιτούτο Μασαχουσέτης
<b>RRI</b>	Responsible Research and Innovation	Υπεύθυνη Έρευνα και Καινοτομία
<b>ΔMA</b>	Teaching Learning Sequence	Διδακτική Μαθησιακή Ακολουθία
<b>C-dots</b>	Carbon quantum dots	Τελείες άνθρακα

## Πρόλογος

Η Νανοτεχνολογία αποτελεί ένα νέο αναδυόμενο επιστημονικό πεδίο πάνω στο οποίο έχουν στραφεί τα βλέμματα των σύγχρονων επιστημόνων. Η Νανοτεχνολογία έχει ως στόχο να γνωρίσει, να αναδείξει και να εκμεταλλευτεί με διάφορους τρόπους τις εξαιρετικές ιδιότητες που παρουσιάζουν κάποια υλικά στην κλίμακα του νανόμετρου ( $1 \text{ nm} = 0,000000001 \text{ m}$ ). Η Νανοτεχνολογία βρίσκει χρήσεις σε πολλούς τομείς, όπως η Ιατρική και η βιομηχανία, δίνοντάς τους τη δυνατότητα να δημιουργήσουν βελτιωμένα και αποδοτικότερα προϊόντα, τα οποία παρουσιάζουν εξαιρετικά χαρακτηριστικά. Δίνονται, έτσι, νέες ευκαιρίες στην παραγωγή προϊόντων, τα οποία μπορούν να συμβάλλουν σημαντικά στη βελτίωση της ζωής του ανθρώπου.

Στόχος της συγκεκριμένης εργασίας είναι να παρατεθεί μια πρόταση παρουσίασης εφαρμογών Νανοτεχνολογίας, μέσω απλών δραστηριοτήτων βασισμένων σε πειράματα, η οποία θα δώσει τη δυνατότητα στους μαθητές να εμπλακούν και να αποκτήσουν προσωπική εμπειρία με υλικά των οποίων οι ιδιότητες οφείλονται στο εξαιρετικά μικρό τους μέγεθος (νάνο). Θα τους δοθεί, επίσης, η δυνατότητα να έρθουν σε επαφή με εμπορικά προϊόντα στα οποία εφαρμόζεται Νανοτεχνολογία, εκμεταλλευόμενη τις νανοδομές διαφόρων υλικών. Έτσι, οι μαθητές μέσα από την εμπειρία και το βίωμα, χωρίς να έρθουν σε επαφή με δυσνόητες, για την ηλικία τους, έννοιες και επιστημονικούς ορισμούς, θα έχουν την ευκαιρία να αποκτήσουν βασικές γνώσεις σχετικά με τον νανόκοσμο και τις ιδιότητες των νανοϋλικών.

Η εργασία είναι χωρισμένη σε τέσσερα κεφάλαια. Στο πρώτο κεφάλαιο, το οποίο αποτελεί μια εισαγωγή στη Νανοτεχνολογία, γίνεται μια προσπάθεια, μέσα από ανασκόπηση της βιβλιογραφίας, να δοθεί ο ορισμός της Νανοτεχνολογίας και της Νανοεπιστήμης, ενώ ακολουθεί και μια ιστορική αναδρομή σχετικά με τη χρήση νανοϋλικών και εφαρμογών Νανοτεχνολογίας από την Αρχαιότητα έως σήμερα, καθώς και της επιστημονικής τους εξέλιξης. Στη συνέχεια, γίνεται αναφορά στα νανοϋλικά, στις κατηγορίες στις οποίες διακρίνονται, καθώς και στις τεχνικές παραγωγής και σύνθεσής τους. Γίνεται, επίσης, μια σύντομη αναφορά σε ιδιότητες νανοϋλικών που παρατηρούνται στη φύση, καθώς και σε ιδιότητες που παρουσιάζουν κάποια ζώα και φυτά και οφείλονται σε νανοδομές. Τέλος, παρουσιάζονται εφαρμογές της Νανοτεχνολογίας σε διάφορους επιστημονικούς και εμπορικούς τομείς. Συγκεκριμένα,

αναφέρονται εφαρμογές Νανοτεχνολογίας στον τομέα της ηλεκτρονικής, στον τομέα της ενέργειας και της προστασίας του περιβάλλοντος, στη βιομηχανία αυτοκινήτων, στη βιομηχανία τροφίμων και συσκευασίας, στην Ιατρική, καθώς και σε άλλους επιστημονικούς και εμπορικούς τομείς.

Το δεύτερο κεφάλαιο πραγματεύεται την παρουσία της Νανοτεχνολογίας στις τρεις εκπαιδευτικές βαθμίδες, δίνοντας έμφαση κυρίως στην Α/θμια και Β/θμια Εκπαίδευση. Πιο συγκεκριμένα, γίνεται αναφορά στην αξία της παρουσίας της Νανοτεχνολογίας στην Εκπαίδευση, παρουσιάζονται ερευνητικές προσπάθειες ένταξης της Νανοτεχνολογίας στη Α/θμια και Β/θμια Εκπαίδευση, σε εθνικό και διεθνές επίπεδο, τόσο στην Τυπική όσο και στην Άτυπη και μη-Τυπική εκπαίδευση και παρουσιάζονται τα αποτελέσματά τους. Παρουσιάζονται, επίσης, η μεθοδολογία και τα αποτελέσματα ερευνών σχετικά με τις ιδέες και τις γνώσεις των μαθητών του Δημοτικού σχολείου αναφορικά με τη Νανοτεχνολογία και παρουσιάζονται συγκεκριμένες προσπάθειες ανάπτυξης εκπαιδευτικού υλικού που έχουν πραγματοποιηθεί για τη διδασκαλία της Νανοτεχνολογίας στην Α/θμια Εκπαίδευση.

Στο τρίτο κεφάλαιο, αφού γίνει αναφορά στην αξία του πειράματος στη διδασκαλία των Φυσικών Επιστημών, παρουσιάζονται δραστηριότητες, οι περισσότερες από τις οποίες περιλαμβάνουν πειράματα, που έχουν ως στόχο να εισάγουν στους μαθητές στον «νανόκοσμο» και να παρουσιάσουν, με απλό τρόπο, ιδιότητες των νανοδομημένων υλικών και εφαρμογές Νανοτεχνολογίας. Οι δραστηριότητες είναι χωρισμένες σε τρεις ενότητες, ο χωρισμός των οποίων έγινε με βάση το περιεχόμενο και τους στόχους των δραστηριοτήτων. Η πρώτη ενότητα περιλαμβάνει δράσεις οι οποίες έχουν ως στόχο να εισάγουν τους μαθητές στη Νανοτεχνολογία, να γνωρίσουν τη νανοκλίμακα και να μπορούν να διακρίνουν και να ταξινομούν υλικά στον μακρόκοσμο, το μικρόκοσμο και τον νανόκοσμο. Η δεύτερη ενότητα περιλαμβάνει δραστηριότητες, κυρίως πειράματα, που αφορούν ιδιότητες των νανοϋλικών, καθώς και ιδιότητες που παρουσιάζουν κάποια υλικά εξαιτίας της παρουσίας νανοϋλικών ή νανοδομών. Στην τρίτη ενότητα γίνεται μια παρουσίαση εμπορικών προϊόντων, τα οποία κυκλοφορούν στην αγορά και χρησιμοποιούν Νανοτεχνολογία.

Τέλος, στο τέταρτο και τελευταίο κεφάλαιο της εργασίας παρουσιάζονται τα συμπεράσματα που εξήχθησαν μέσα από την ανασκόπηση της βιβλιογραφίας και κατά τον σχεδιασμό των δραστηριοτήτων. Γίνονται, επίσης, κάποιες προτάσεις σχετικές με τον

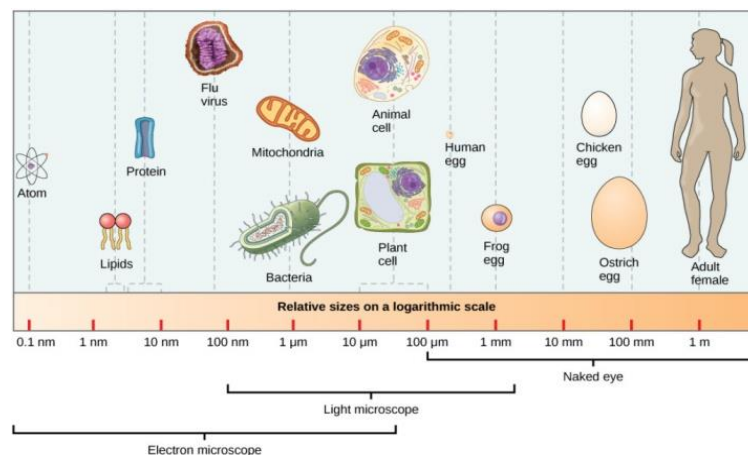
τρόπο με τον οποίο θα μπορούσαν να παρουσιαστούν και να ενταχθούν οι δραστηριότητες στο μάθημα της Φυσικής της Ε' και Στ' τάξης του Δημοτικού σχολείου, καθώς και πιθανές προοπτικές εφαρμογής τους. Κλείνοντας την εργασία, αναφέρονται πιθανές αντικειμενικές δυσκολίες, οι οποίες λήφθηκαν υπόψη κατά τον σχεδιασμό των δραστηριοτήτων και προτείνονται πιθανές λύσεις για την αντιμετώπιση ενδεχομένων εμποδίων κατά την εφαρμογή τους.

# Κεφάλαιο 1. Εισαγωγή στη Νανοτεχνολογία

## 1.1. Τι είναι η Νανοτεχνολογία-Ορισμός

Οι όροι Νανοεπιστήμη και Νανοτεχνολογία, ετυμολογικά, είναι σύνθετες λέξεις με πρώτο συνθετικό τη λέξη «νάνος», γεγονός που οδηγεί εύκολα στο συμπέρασμα ότι ασχολούνται με κάτι μικρό. Το πρόθεμα «νάνο» αναφέρεται σε μια κλίμακα μεγέθους στο μετρικό σύστημα και χρησιμοποιείται για να δηλώσει το ένα δισεκατομμυριοστό της μονάδας βάσης μιας τάξης μεγέθους (Allhoff, Lin, & Moore, 2010). Ένα νανόμετρο (nm) είναι ένα δισεκατομμυριοστό ( $10^{-9}$  m) ενός μέτρου, δηλαδή περίπου η απόσταση από το ένα άκρο στο άλλο μιας γραμμής πέντε γειτονικών ατόμων σε ένα συνηθισμένο στερεό (Bruus, 2004).

Το πραγματικό μέγεθος ενός νανόμετρου (nm) μπορεί να γίνει περισσότερο κατανοητό αν συγκριθεί με άλλα αντικείμενα. Για παράδειγμα, μία ανθρώπινη τρίχα έχει πλάτος 80.000 nm, ένα ερυθρό αιμοσφαίριο περίπου 7000 nm και ένα μόριο νερού είναι σχεδόν 0,3 nm (The Royal Society & The Royal Academy of Engineering, 2004). Επίσης, το μέγεθος ενός νανόμετρου, σε σχέση με το μέτρο, είναι περίπου το ίδιο, αναλογικά, με το μέγεθος που έχει ένα μπαλάκι του γκολφ σε σχέση με το μέγεθος της Γης. Ένας άλλος τρόπος για να γίνει αντιληπτό το μέγεθος του νανόμετρου είναι παρουσιάζοντας παραδείγματα μεγέθους γνωστών αντικειμένων από ένα εκατοστό (cm) έως ένα νανόμετρο (nm). Έτσι, ένα μυρμήγκι έχει μέγεθος 5 mm ( $10^{-3}$  m), το κεφάλι μιας καρφίτσας 1-2 mm, ένας κόκκος σκόνης 200  $\mu$ m ( $10^{-6}$  m), η διπλή έλικα του DNA έχει πλάτος 2 nm και τέλος, το ίδιο άτομο έχει πλάτος μικρότερο από 1 nm.



**Εικόνα 1.1:** Κλίμακα διαστάσεων από μέτρα (m) έως νανόμετρα (nm).

Πηγή: <https://malaykikii.blogspot.com/2021/01/eukaryotic-and-prokaryotic-cells.html>



Η Νανοτεχνολογία, λοιπόν, ασχολείται με αντικείμενα που βρίσκονται στη νανομετρική κλίμακα, η οποία είναι το φυσικό χωρικό πλαίσιο των μορίων και των αλληλεπιδράσεών τους (Varadan, Chen, & Xie, 2008). Σύμφωνα με την National Nanotechnology Initiative<sup>1</sup>: «Η Νανοτεχνολογία είναι η κατανόηση και ο έλεγχος της ύλης στη νανοκλίμακα, σε διαστάσεις μεταξύ περίπου 1 και 100 νανόμετρα, όπου μοναδικά φαινόμενα επιτρέπουν νέες εφαρμογές», ενώ σύμφωνα με τη The Royal Society & The Royal Academy of Engineering (2004): «Νανοεπιστήμη ορίζεται η μελέτη των φαινομένων και η διαχείριση υλικών σε ατομική, μοριακή και μακρομοριακή κλίμακα, όπου οι ιδιότητες των υλικών διαφέρουν σημαντικά από αυτές σε μεγαλύτερη κλίμακα».

Έτσι, κατ' επέκταση, ως νανοϋλικό μπορεί να οριστεί ένα υλικό το οποίο αποτελείται από άτομα, συστάδες ατόμων, μόρια και κατασκευασμένα νανοϋλικά σε κλίμακα μεγέθους 1-100 nm (Sharon, 2019). Οι ιδιότητες που παρουσιάζει ένα νανοϋλικό είναι αρκετά διαφορετικές σε σχέση με τις αντίστοιχες ιδιότητές του σε μεγαλύτερη κλίμακα (The Royal Society & The Royal Academy of Engineering, 2004). Η Νανοεπιστήμη βασίζεται στο γεγονός ότι οι ιδιότητες των υλικών αλλάζουν ως συνάρτηση της φυσικής διάστασης του ίδιου του υλικού και η Νανοτεχνολογία επωφελείται από αυτή την αλλαγή των ιδιοτήτων εφαρμόζοντας συγκεκριμένες τροποποιήσεις αυτής της φύσης με στόχο τη βελτίωσή τους (Michael & Hochella, 2002).

Η Νανοτεχνολογία, λοιπόν, δίνει τη δυνατότητα για δημιουργία νέων προϊόντων με εντελώς καινούρια χαρακτηριστικά και απεριόριστες δυνατότητες, τα οποία βρίσκουν εφαρμογή σε πολλούς επιστημονικούς τομείς.

## **1.2. Ιστορική Αναδρομή: Από την Αρχαιότητα στο σήμερα**

Σήμερα, υπάρχει η εντύπωση πως η Νανοτεχνολογία είναι κάτι το εντελώς νέο. Κάτι τέτοιο, στην καλύτερη περίπτωση, θα μπορούσε να χαρακτηριστεί ως αναληθές, καθώς στην ιστορία υπάρχουν πολλά παραδείγματα χρήσης νανοτεχνολογικών εφαρμογών από την αρχαιότητα ακόμη. Οι ρίζες της Νανοτεχνολογίας ξεκινούν από την εποχή του

---

<sup>1</sup> National Nanotechnology Initiative (NNI): είναι μια πρωτοβουλία έρευνας και ανάπτυξης της κυβέρνησης των ΗΠΑ (E & A) που περιλαμβάνει δραστηριότητες που σχετίζονται με τη Νανοτεχνολογία. Για περισσότερες πληροφορίες: <https://www.nano.gov/>

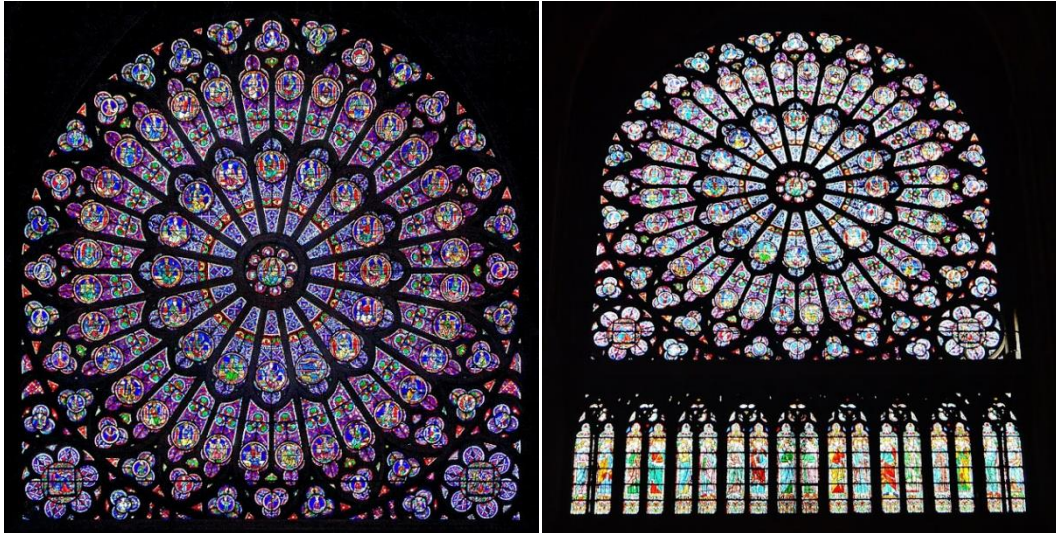
Δημόκριτου (440 π.Χ.). Ο Δημόκριτος ήταν ο πρώτος που μίλησε για το άτομο, ως βασικό συστατικό της ύλης (Χαριτίδης & Βιδάλης, 2010). Επίσης, υπάρχουν πολλά παραδείγματα εφαρμογών Νανοτεχνολογίας από αρχαίους πολιτισμούς.

Η χρήση νανοϋλικών φαίνεται να ξεκίνησε, κυρίως με την κατασκευή γυαλιού, στην Αίγυπτο και στη Μεσοποταμία το 14<sup>ο</sup> και 13<sup>ο</sup> αιώνα π.Χ. (Schaming & Remita, 2015). Επίσης, οι Ρωμαίοι, πριν από την εποχή του Χριστιανισμού ακόμα, ενσωμάτωναν μέταλλα με νανομετρικές διαστάσεις στην κατασκευή γυαλιού. Χαρακτηριστικό παράδειγμα τέτοιας τεχνολογίας αποτελεί «το κύπελλο του Λυκούργου», το οποίο χρονολογείται στο 325 μ.Χ, αποτελώντας τεχνούργημα «Ελληνιστικής Νανοτεχνολογίας» (Μαλτέζος, 2021), απεικονίζει τον θάνατο του βασιλιά Λυκούργου. Το συγκεκριμένο κύπελλο, ενώ σε φυσικό φωτισμό έχει πράσινο χρώμα, όταν μια φωτεινή πηγή τοποθετηθεί στο εσωτερικό του, το χρώμα του αλλάζει και γίνεται κόκκινο. Το γεγονός αυτό οφείλεται στην παρουσία νανοσωματιδίων αργύρου, χρυσού και χαλκού, τα οποία είναι ενσωματωμένα μέσα στο γυαλί. Η απορρόφηση φωτός και η διασπορά του από αυτά τα νανοσωματίδια προκαλούν την αλλαγή του χρώματος. Ανάλογο φαινόμενο συμβαίνει και στα βιτρό των καθεδρικών ναών, τα οποία περιέχουν επίσης νανοσωματίδια μετάλλων (Horikoshi & Serpone, 2013).



**Εικόνα 1.2:** Το κύπελλο του Λυκούργου.

Πηγή: <https://d.ibtimes.co.uk/en/full/1402890/lycurgus-cup.jpg>



*Εικόνα 1.3: Βιτρό από τον καθεδρικό ναό της Παναγίας των Παρισίων.*

Πηγή: [http://peritexnisologos.blogspot.com/2019/04/blog-post\\_16.html](http://peritexnisologos.blogspot.com/2019/04/blog-post_16.html)

Από την αρχαιότητα, οι άνθρωποι κατέκτησαν τεχνικές παρασκευής ψωμιού, κρασιού, μύρας, τυριού και άλλων τροφίμων, στα οποία οι διαδικασίες ζύμωσης πραγματοποιούνται στο νανοεπίπεδο. Στην αρχαία Ινδία, παρατηρούνται αρκετές εφαρμογές Νανοτεχνολογίας σε διάφορους τομείς όπως στη φαρμακευτική, τη μεταλλουργία, τη χρωματοποιεία, την υφαντουργία, τη χρυσοχοΐα, τη χειροτεχνία κ.α. Νανοσωματίδια μετάλλων, πολυμερή και νανομορφές άνθρακα χρησιμοποιήθηκαν για την εξέλιξη μεταλλουργικών, φαρμακευτικών και καλλυντικών προϊόντων, χωρίς ακόμη να υπάρχει η γνώση της ύπαρξης των νανοϋλικών (Sharon, 2019). Επίσης, παραδοσιακοί γιατροί στην Ινδία και στην Κίνα, τον 4<sup>ο</sup> και 5<sup>ο</sup> αι. π.Χ. κατάφεραν να ετοιμάσουν κολλοειδή διαλύματα χρυσού για θεραπευτικούς λόγους (Ball, Patil, & Soni, 2019).

Αρχαιολόγοι επιστήμονες, μελετώντας την ιστορία, διαπίστωσαν ότι οι ιδιότητες της νανοκλίμακας έπαιξαν σημαντικό ρόλο σε πολλές καινοτόμες εφαρμογές κατά την αρχαιότητα. Ευρήματα βασισμένα σε δείγματα που χρονολογούνται τουλάχιστον δύο χιλιάδες χρόνια πριν, φανερώνουν πως οι αρχαίοι Αιγύπτιοι, οι αρχαίοι Έλληνες, καθώς και οι Ρωμαίοι την εποχή του Ιούλιου Καίσαρα, χρησιμοποιώντας νανοκρυστάλλους μόλυβδου, δημιούργησαν μια μαύρη χρωστική ουσία την οποία χρησιμοποιούσαν σαν βαφή για τα μαλλιά τους, έτσι ώστε αυτά να αποκτούν ένα σκούρο χρώμα. Άλλο χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελεί το φημισμένο «σπαθί της Δαμασκού», ένα ατσάλινο όπλο, υπερβολικά ανθεκτικό, το οποίο χρησιμοποιήθηκε από αρχαίους ισλαμικούς και ινδουιστές πολεμιστές, περισσότερο από χίλια χρόνια πριν. Το

συγκεκριμένο σπαθί χαρακτηριζόταν από απaráμιλλη αντοχή αλλά και την ικανότητα να διατηρεί αιχμηρή την ακμή του. Ο χάλυβας σε αυτό το είδος ξίφους προήλθε από χάλυβα υψηλής περιεκτικότητας σε άνθρακα που εξορύσσεται στη νότια Ινδία. Περιείχε προσμείξεις τιμεντίτη ( $Fe_3C$ ), φωσφόρου, χαλκού, θείου, νικελίου και πυριτίου (Verhoeven, Pendray, & Dauksch, 1998). Κατά τη διάρκεια της τήξης του με σκοπό να σφυρηλατηθεί, το μέταλλευμα σχημάτιζε νανοσωλήνες άνθρακα και νανοσύρματα τιμεντίτη, προσδίδοντάς του νέες ιδιότητες. Το «σπαθί της Δαμασκού», αποτελεί και μία από τις πρώτες τεκμηριωμένες εφαρμογές νανοσωλήνων άνθρακα σε ένα εμπορικό προϊόν (Tomczyk, 2015).

Οι επιστήμονες, έχοντας αναλύσει πολλά ευρήματα, έχουν καταλήξει, επίσης, πως πολλά ασυνήθιστα χρώματα που χρησιμοποιούνταν, οφείλονται στην παρουσία μεταλλικών νανοσωματιδίων. Σημαντική είναι η παρουσία μεταλλικών νανοσωματιδίων σε χρώματα στον πολιτισμό των Μάγια. Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελεί μια χρωστική ουσία γνωστή ως «Maya Blue», η οποία παρουσιάζει ένα λαμπερό τυρκουάζ χρώμα και έχει καταφέρει να επιβιώσει εδώ και αιώνες λόγω των χημικών χαρακτηριστικών της. Το Maya Blue δεν είναι μια συνηθισμένη οργανική χρωστική ουσία, αλλά αποτελεί μία σύνθεση οργανικών και ανόργανων συστατικών και χρησιμοποιήθηκε από τους Μάγια εκτενώς σε τελετουργίες, στην κατασκευή έργων τέχνης και σε τοιχογραφίες (Sharon, 2019).

Όλα τα παραπάνω δεν αποτελούν απλά κάποια ιστορικά παραδείγματα, αλλά έχουν διαδραματίσει σημαντικό ρόλο στην εξέλιξη της Νανοτεχνολογίας και της Νανοεπιστήμης κατά τους αιώνες, έχοντας συμβάλει καθοριστικά τη διαμόρφωσή τους όπως τις γνωρίζουμε σήμερα. Έθεσαν τις βάσεις για τη σημερινή τους εξέλιξη και έδωσαν το έναυσμα στους σύγχρονους επιστήμονες για περεταίρω έρευνα του νανόκοσμου και των ιδιοτήτων των υλικών στη νανοκλίμακα. Παρακάτω θα γίνει αναφορά σε επιστήμονες και γεγονότα που οδήγησαν στη διαμόρφωση της Νανοεπιστήμης και της Νανοτεχνολογίας όπως τη γνωρίζουμε σήμερα.

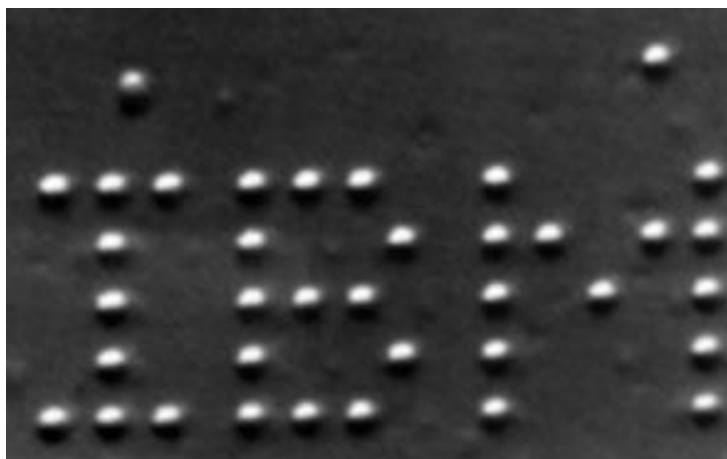
Πρώτος ο Michael Faraday, το 1957, περιέγραψε τη χρήση νανοσωματιδίων και συγκεκριμένα σωματιδίων κολλοειδούς χρυσού στα πειράματά του. Ο Faraday δημιούργησε ένα ρουμπινί κόκκινο διάλυμα του οποίου το χρώμα οφειλόταν σε μικροσκοπικού μεγέθους σωματίδια χρυσού. Αυτό αποτέλεσε και το πρώτο δείγμα χρήσης κολλοειδούς χρυσού (Kumar & Kumbhat, 2016).

Πρώτη ουσιαστική αναφορά στη Νανοτεχνολογία, ωστόσο χωρίς να χρησιμοποιηθεί ο όρος, έγινε το 1959 από τον Richard Feynman στην ομιλία του “There is plenty of room in the bottom”. Στη συγκεκριμένη ομιλία του, ανέφερε πως κάθε υλικό μπορεί να διαχειριστεί σε ατομικό επίπεδο και πως είναι δυνατόν να πραγματοποιηθεί χειρισμός μεμονωμένων ατόμων, αν χρησιμοποιηθούν τα κατάλληλα εργαλεία (Feynman, 1960). Η ομιλία του Feynman θεωρείται η πρώτη ακαδημαϊκή ομιλία που αναφέρεται στον άμεσο χειρισμό μεμονωμένων ατόμων, μια από τις βασικές αρχές της Νανοτεχνολογίας. Έτσι, αν και δεν ανέφερε τον όρο «Νανοτεχνολογία», ο R. Feynman θεωρείται ο «πατέρας της Νανοτεχνολογίας» (Kumar & Kumbhat, 2016).

Ο όρος «Νανοτεχνολογία» αναφέρθηκε για πρώτη φορά το 1974 από τον Norio Taniguchi, σε μια διατριβή του με τίτλο «On the basic concept of ‘Nanotechnology’». Σύμφωνα με τον ίδιο «η Νανοτεχνολογία συνίσταται κυρίως στην επεξεργασία διαχωρισμού, ενοποίησης και παραμόρφωσης υλικών από ένα άτομο ή ένα μόριο» (Kumar & Kumbhat, 2016). Το 1981 παρουσιάζεται η πρώτη επιστημονική εργασία για τη Νανοτεχνολογία από τον Eric Drexler, στην οποία αναφέρει βασικές αρχές μοριακού σχεδιασμού, καθώς και εφαρμογές της Νανοτεχνολογίας σε διάφορους επιστημονικούς τομείς (Drexler, 1981). Το ίδιο έτος, η εφεύρεση του σαρωτικού μικροσκοπίου σήραγγας (Scanning Tunneling Microscope - STM), το οποίο κατέστησε δυνατή την απεικόνιση και μετατόπιση μεμονωμένων ατόμων, έπαιξε καθοριστικό ρόλο στην εξέλιξη της Νανοτεχνολογίας (Χαριτίδης & Βιδάλης, 2010).

Το 1986 ο Eric Drexler δημοσίευσε το βιβλίο «Μηχανές Δημιουργίας: Η επερχόμενη εποχή της Νανοτεχνολογίας», το οποίο αποτελεί το πρώτο βιβλίο για την Νανοτεχνολογία. Ο Drexler, στο συγκεκριμένο βιβλίο, εισάγει και ορίζει το επιστημονικό πεδίο της Νανοτεχνολογίας όπως είναι γνωστό σήμερα και κάνει εκτενή αναφορά στους τρόπους δημιουργίας συσκευών σε μέγεθος νανοκλίμακας (Tomczyk, 2015).

Το 1989 ξεκινά η πρακτική εφαρμογή των αναφορών του Drexler, με την εταιρία IBM, η οποία χρησιμοποιεί 35 μεμονωμένα άτομα Ξένου για να απεικονίσει το λογότυπο της εταιρίας (Χαριτίδης & Βιδάλης, 2010). Λίγο αργότερα, το 1991, ο Sumio Iijima ανακάλυψε τους νανοσωλήνες άνθρακα, ενώ την ίδια χρονιά το Εθνικό Ίδρυμα Επιστημών των ΗΠΑ ξεκίνησε ένα πρόγραμμα αφιερωμένο στη Νανοτεχνολογία (Ganguly & Mukhopadhyay, 2011).



**Εικόνα 1.4:** Λογότυπο IBM από 35 άτομα Ξένου. Πηγή:  
[https://upload.wikimedia.org/wikipedia/en/0/07/IBM\\_in\\_atoms.gif](https://upload.wikimedia.org/wikipedia/en/0/07/IBM_in_atoms.gif)

Το 2000 ιδρύθηκε στις ΗΠΑ η Εθνική Πρωτοβουλία για τη Νανοτεχνολογία (NNI: National Nanotechnology Initiative) (Ganguly & Mukhopadhyay, 2011). Τη δεκαετία του 2000 παρουσιάζονται, επίσης, και οι πρώτες εφαρμογές Νανοτεχνολογίας σε επιστημονικούς τομείς όπως στην ηλεκτρονική, τη φαρμακευτική και την Ιατρική.

### **1.3. Νανοϋλικά**

#### **1.3.1. Ο όρος «Νανοϋλικά»**

Όταν γίνεται αναφορά σε όρους όπως «νανοϋλικά», «νανοδομημένα υλικά», «νανοαντικείμενα», «νανοσωματίδια», παρατηρείται πολλές φορές μια σύγχυση και δυσκολία σαφούς προσδιορισμού των όρων. Έτσι, κρίνεται σκόπιμο να διασαφηνιστούν οι παραπάνω όροι προτού πραγματοποιηθεί περεταίρω ανάλυσή τους.

Παρά το γεγονός ότι το μέγεθος του ενός νανόμετρου ορίζεται επακριβώς ( $1\text{nm}=0,000000001\text{m}$ ), δεν υπάρχει ένας ενιαίος αποδεκτός ορισμός για τα νανοϋλικά. Διαφορετικοί οργανισμοί ορίζουν τα νανοϋλικά με διαφορετικό τρόπο. Ωστόσο, συνήθως ως νανοϋλικά περιγράφονται υλικά με μήκος 1-100nm σε τουλάχιστον μία διάσταση (Jeevanandam, Barhoum, Chan, Dufresne, & Danquah, 2018).

Δίνοντας έναν πιο γενικό ορισμό, το British Standards Institution ορίζει ως νανοϋλικό ένα υλικό το οποίο έχει οποιαδήποτε εσωτερική ή εξωτερική δομή στη διάσταση της νανοκλίμακας. Επίσης, ορίζει ένα νανοαντικείμενο ως ένα υλικό το οποίο διαθέτει μια ή περισσότερες περιφερειακές διαστάσεις νανοκλίμακας και ως νανοσωματίδιο, ένα νανοαντικείμενο με τρεις εξωτερικές διαστάσεις σε μέγεθος

νανοκλίμακας. Τέλος, νανοδομημένα υλικά είναι τα υλικά που περιέχουν εσωτερική ή επιφανειακή νανοδομή (Jeevanandam, Barhoum, Chan, Dufresne, & Danquah, 2018).

Συνοψίζοντας τους ορισμούς διαφόρων οργανισμών, και προχωρώντας σε κάποιες γενικεύσεις, ως νανοϋλικό μπορεί να οριστεί ένα υλικό το οποίο έχει τουλάχιστον μία πλευρά ή εσωτερική δομή στην νανοκλίμακα. Επίσης, ως νανοσωματίδιο αναφέρεται συνήθως το σωματίδιο το οποίο έχει διάμετρο από 1-100nm, δηλαδή διαθέτει και τις τρεις διαστάσεις του μικρότερες από 100nm (Horikoshi & Serpone, 2013).

Ο λόγος ο οποίος κάνει τα νανοϋλικά ξεχωριστά είναι το γεγονός ότι, εξαιτίας του πολύ μικρού μεγέθους τους, οι περισσότερες φυσικές και χημικές ιδιότητες τους είναι εντελώς διαφορετικές στη νανοκλίμακα από τις αντίστοιχες σε μεγαλύτερες διαστάσεις. Σε μεγέθη νανοκλίμακας, χαρακτηριστικά όπως το σημείο τήξης, η σκληρότητα, η οπτική συμπεριφορά, οι μαγνητικές και ηλεκτρικές ιδιότητες διαφοροποιούνται, καθώς εξαρτώνται από το μέγεθος (Cassano & Voliani, 2018). Το γεγονός αυτό εκμεταλλεύεται η Νανοτεχνολογία προσπαθώντας να ελέγξει τη σύνθεση, το μέγεθος και τη δομή των υλικών αυτών στη νανοκλίμακα, σχεδιάζοντας νέα υλικά με νέες ιδιότητες προσανατολισμένες ανάλογα με τον τομέα εφαρμογής (McKenna, 2009).

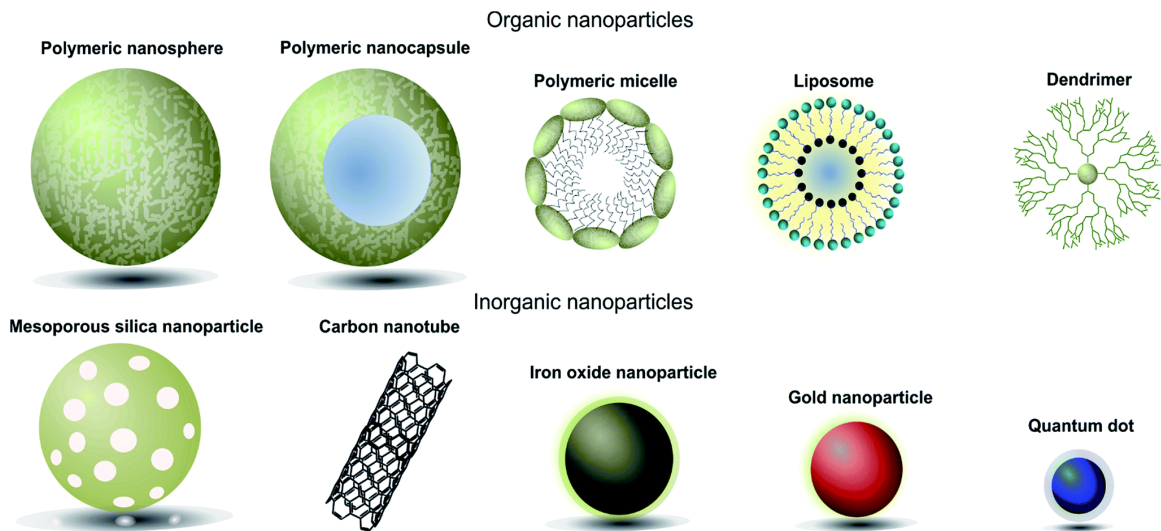
### **1.3.2. Ταξινόμηση των νανοϋλικών**

#### **Κατηγορίες Νανοϋλικών με βάση το υλικό**

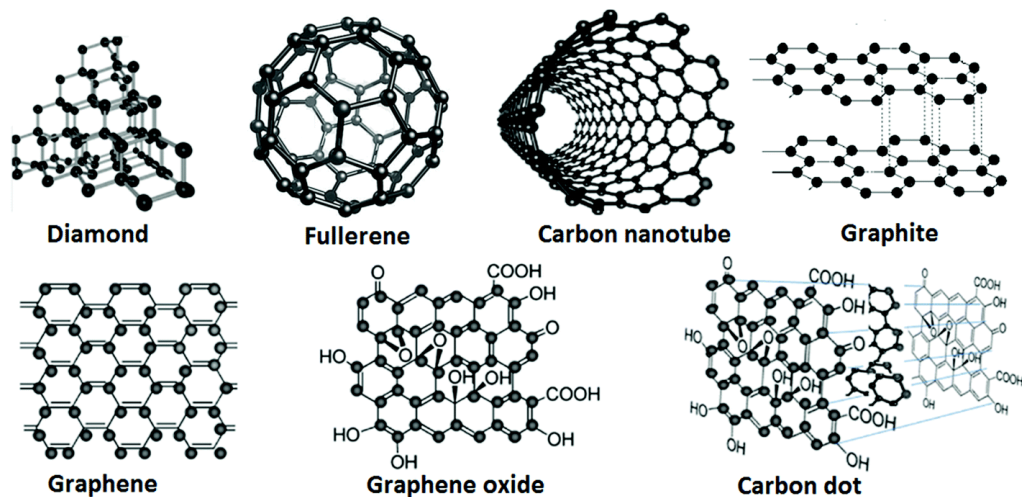
Τα νανοϋλικά μπορούν να διακριθούν σε τέσσερις κατηγορίες με βάση το υλικό τους (Jeevanandam, Barhoum, Chan, Dufresne, & Danquah, 2018):

- *Νανοϋλικά με βάση τον άνθρακα*: περιέχουν άνθρακα και μορφολογικά μοιάζουν με κοίλους σωλήνες, ελλειψοειδή και σφαίρες. Τέτοια νανοϋλικά είναι τα φουλλερένια, οι νανοσωλήνες άνθρακα, οι νανοϊνες άνθρακα, η αιθάλη και το γραφένιο.
- *Ανόργανα νανοϋλικά*: περιλαμβάνουν μέταλλα και μεταλλικά οξείδια. Π.χ. μέταλλα χρυσού (Au) ή Αργύρου (Ag), οξείδια μετάλλων και ημιαγωγούς, όπως το πυρίτιο και τα κεραμικά.
- *Οργανικά νανοϋλικά*: περιλαμβάνουν νανοσωματίδια κυρίως από οργανική ύλη. Τέτοια είναι τα δενδριμερή, τα μικκύλια, τα λιποσώματα και τα πολυμερικά σωματίδια.

- **Σύνθετα νανοϋλικά:** μπορούν να δημιουργηθούν από συνδυασμό νανοϋλικών οποιασδήποτε κατηγορίας ανάλογα με τις επιθυμητές ιδιότητες που μπορεί να έχει μια εφαρμογή.



**Εικόνα 1.5:** Οργανικά και ανόργανα νανοσωματίδια. Πηγή: <https://hippocratesmedreview.org/its-a-nanoparty-nanoparticles-and-their-applications-in-medicine/>



**Εικόνα 1.6:** Διαφορετικές δομές νανοϋλικών άνθρακα. Πηγή: [https://www.cd-bioparticles.com/t/Properties-and-Applications-of-Carbon-Nanoparticles\\_61.html](https://www.cd-bioparticles.com/t/Properties-and-Applications-of-Carbon-Nanoparticles_61.html)

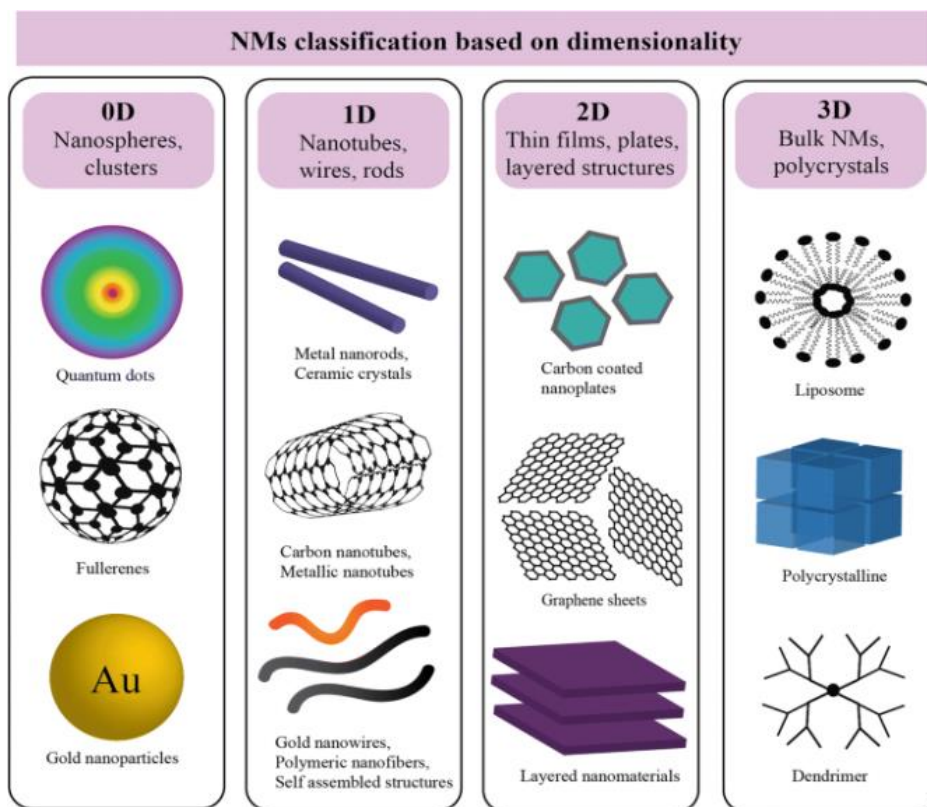
### Ταξινόμηση με βάση τις διαστάσεις

Τα νανοϋλικά μπορεί να έχουν στη νανοκλίμακα μία, δύο, τρεις ή καθόλου διαστάσεις. Μπορούν να υπάρξουν σε απλές μορφές, σφαιρικές, σωληνοειδείς ή και να έχουν ακανόνιστο σχήμα. Με βάση, λοιπόν, τον αριθμό των διαστάσεων που επεκτείνεται η



νανοδομή τους ταξινομούνται ως μηδενικής διάστασης, μονοδιάστατες, δισδιάστατες ή τρισδιάστατες νανοδομές (Kumar & Kumbhat, 2016):

- i. **Νανοϋλικά μηδενικής διάστασης (0D):** κβαντικές τελείες, μεταλλικές συστάδες
- ii. **Νανοϋλικά μιας διάστασης (1D):** νανοσωλήνες, νανοϊνες, νανοςύρματα κ.α.
- iii. **Νανοϋλικά δύο διαστάσεων (2D):** λεπτά υμένια, επικαλύψεις κ.α.
- iv. **Νανοϋλικά τριών διαστάσεων (3D):** ιζήματα, κολλοειδή κ.α.



**Εικόνα 1.7:** Ταξινόμηση νανοϋλικών με βάση τις διαστάσεις. Πηγή:

<https://particleandfibretoxicology.biomedcentral.com/articles/10.1186/s12989-018-0282-0/figures/2>

### Διάκριση με βάση την προέλευση

Ένας άλλος τρόπος ταξινόμησης των νανοϋλικών μπορεί να γίνει με βάση την προέλευσή τους. Έτσι, διακρίνονται σε φυσικά και ανθρωπογενή.

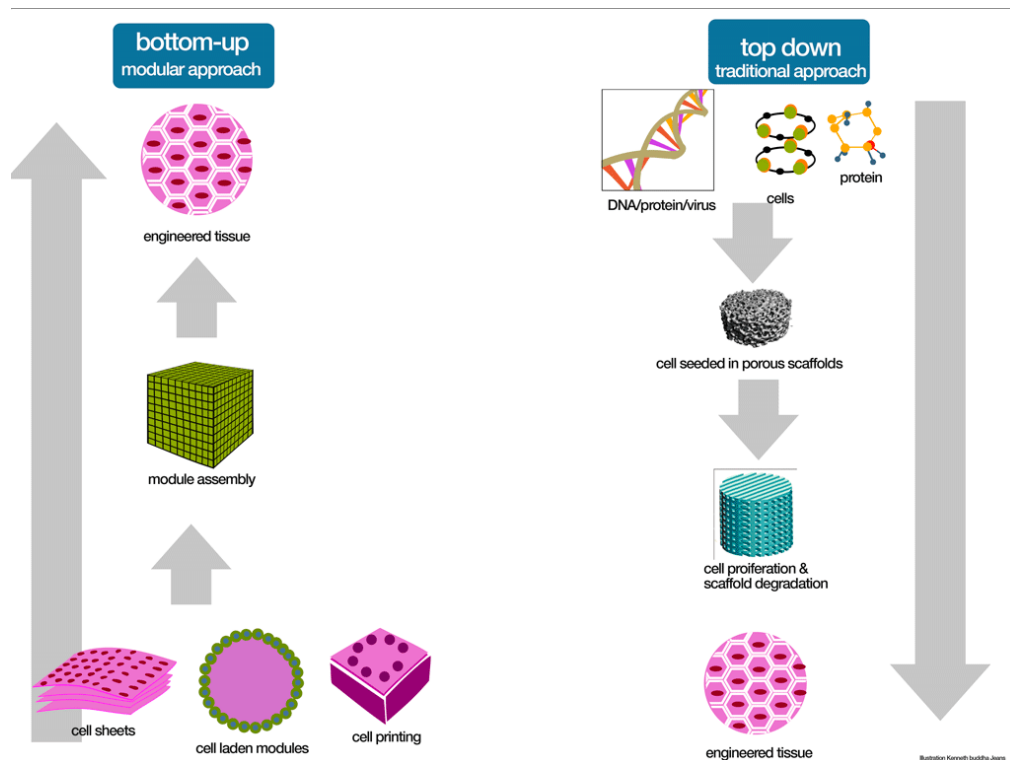
- **Φυσικά νανοϋλικά:** νανοσωματίδια που έχουν φυσική προέλευση. Πρωτεΐνες, ιοί, βακτήρια, νανοσωματίδια που έχουν προκύψει από ηφαιστειακές εκρήξεις ή πυρκαγιές, νανοδομημένα κρύσταλλα και ορυκτά ανήκουν σε αυτή την κατηγορία (Schaming & Remita, 2015).

- *Ανθρωπογενή νανοϋλικά:* Νανοσωματίδια που δημιουργούνται από ανθρωπογενή δραστηριότητα. Τα ανθρωπογενή νανοϋλικά μπορούν ταξινομηθούν σε δύο υποκατηγορίες: α) αυτά που παράγονται από τον άνθρωπο ακούσια, τα οποία είναι συνήθως προϊόντα καύσης πετρελαίου ή βενζίνης, από εργοστάσια παραγωγής ενέργειας κ.α. και β) τα «συνθετικά» νανοϋλικά, τα οποία παράγονται σκόπιμα από τον άνθρωπο ακολουθώντας μια συγκεκριμένη διαδικασία επεξεργασίας, έτσι ώστε να αποκτήσουν συγκεκριμένες ιδιότητες (Schaming & Remita, 2015).

### **1.3.3. Σύνθεση Νανοϋλικών- Τεχνικές παραγωγής**

Η Νανοτεχνολογία και η Νανοεπιστήμη έχουν ως βασικό στόχο τη δημιουργία νέων, βελτιωμένων υλικών εκμεταλλευόμενες τις ιδιότητες των υλικών του νανόκοσμου. Για να είναι δυνατή η διερεύνηση του νανόκοσμου και η σύνθεση νέων υλικών ακολουθούνται δύο διαφορετικές προσεγγίσεις, η «από πάνω προς τα κάτω» («top-down») και η «από κάτω προς τα πάνω» («bottom-up») προσέγγιση.

Στην προσέγγιση «top-down» γίνεται εκκίνηση από ένα μεγαλύτερο μόριο, το οποίο αποσυντίθεται σε μικρότερες μονάδες και στη συνέχεια οι μικρότερες μονάδες μετατρέπονται στα κατάλληλα νανοσωματίδια (Khan, Saeed, & Khan, 2019). Η μέθοδος αυτή χρησιμοποιεί την τεχνική της λιθογραφίας, ξεκινώντας από ένα μεγαλύτερου μεγέθους υλικό, μειώνεται το μέγεθος του υλικού μέχρι να επιτευχθεί το επιθυμητό σχήμα στη νανοκλίμακα. Η «top-down» μέθοδος παρέχει αξιοπιστία και δίνει τη δυνατότητα κατασκευή πολύπλοκων συσκευών (The Royal Society & The Royal Academy of Engineering, 2004). Ευρεία χρήση της «top-down» προσέγγισης γίνεται στη μικρο και νανοηλεκτρονική με την κατασκευή μικρών και περίπλοκων αντικειμένων, όπως τα μικροσίπ των υπολογιστών (Nouailhat, 2008). Παρόλο, όμως, που η συγκεκριμένη προσέγγιση είναι αρκετά αναπτυγμένη, παρουσιάζει κάποια μειονεκτήματα. Αρχικά, παρουσιάζονται ατέλειες στην επιφανειακή δομή των νέων υλικών οι οποίες μπορεί να επηρεάσουν, σε ένα βαθμό, τις φυσικές ιδιότητες του νανοϋλικού. Επίσης, μπορεί να προκληθούν βλάβες κατά την επεξεργασία και να παρουσιαστούν ελαττώματα κατά τη σύνθεση. Παρόλα τα μειονεκτήματα η «top-down» τεχνική είναι πολύ σημαντική για τη δημιουργία νανοϋλικών (Varadan, Chen, & Xie, 2008).



**Εικόνα 1.8:** Απεικόνιση των προσεγγίσεων «bottom-up» και «top-down». Πηγή: <https://buddhajeans.com/encyclopedia/bottom-up-approach/>

Στην προσέγγιση «bottom-up», η οποία αποκαλείται και προσέγγιση ανάπτυξης, σχηματίζονται υλικά από απλούστερες ουσίες (Khan, Saeed, & Khan, 2019). Έτσι, γίνεται δυνατός ο έλεγχος και η κατασκευή ατόμων και μορίων, όπως αυτά απεικονίζονται από την υπερμοριακή χημεία (Nouailhat, 2008). Με αυτή τη μέθοδο, συνδυάζοντας διάφορες τεχνικές από τη χημική μηχανική και την επιστήμη των υλικών, μπορούν να συντεθούν υλικά όπως κβαντικές τελείες και νανοϊνες (Χαριτίδης & Βιδάλης, 2010). Στόχος είναι η παραγωγή μορίων, τα οποία θα έχουν συγκεκριμένες σύνθετες λειτουργίες και η παραγωγή αντικειμένων με συγκεκριμένες επιθυμητές ιδιότητες και λειτουργίες, η δομή των οποίων θα αποτελείται από χιλιάδες ή και περισσότερα σωστά τοποθετημένα μόρια (Pautrat, 2011). Η «bottom-up» προσέγγιση θεωρείται πολύ σημαντική για τη σύνθεση και επεξεργασία νανοϋλικών καθώς παρουσιάζει λιγότερα ελαττώματα σε σχέση με τη μέθοδο «top-down» και οι νανοδομές της παρουσιάζουν περισσότερο ομοιογενή χημική σύνθεση (Varadan, Chen, & Xie, 2008).

Συμπερασματικά, για να είναι δυνατή η σύνθεση νέων υλικών και η κατασκευή νέων προϊόντων, είναι απαραίτητος ο συνδυασμός και των δύο προσεγγίσεων, καθώς η μία συμπληρώνει την άλλη (Binns, 2010). Με αυτό τον τρόπο πραγματοποιείται

ολοκληρωμένη έρευνα του νανόκοσμου, τα αποτελέσματα της οποίας οδηγούν στην εξέλιξη της Νανοεπιστήμης.

#### **1.4. Η Νανοτεχνολογία στη φύση**

Ο σύγχρονος άνθρωπος ακούγοντας όρους όπως «Νανοτεχνολογία», «νανοϋλικά», «νανοσωματίδια», φαντάζεται σύγχρονα εργαστήρια, πολύπλοκα μηχανήματα, επιστήμονες και «φουτουριστικές» κατασκευές. Σε καμία περίπτωση όμως δε μπορεί να φανταστεί πως η ίδια η φύση είναι γεμάτη από νανοϋλικά και σχηματίζει συνεχώς νέα χρησιμοποιώντας φυσικές διεργασίες.

Στη φύση, σχεδόν κάθε είδους χημική ουσία που σχηματίζεται παρουσιάζει κάποια δομή στη νανομετρική κλίμακα. Τα νανοσωματίδια σχηματίζονται με φυσικό τρόπο μέσα από χημικές, μηχανικές, θερμικές, βιολογικές διεργασίες και συνδυασμό αυτών ή εισάγονται από το διάστημα (Sharon, 2019). Τέτοιες διεργασίες μπορεί να είναι εκρήξεις ηφαιστειών, πυρκαγιές σε δάση, γεωλογικές διεργασίες, καθώς και εξωγήινη δραστηριότητα (π.χ. εκρήξεις σουπερνόβα) και έχουν ως αποτέλεσμα την εμφάνιση νανοσωματιδίων σε ολόκληρο τον πλανήτη (Binns, 2010). Τέλος, νανοσωματίδια έχουν παρατηρηθεί και σε διάφορα ορυκτά, καθώς και στην επιφάνεια της ερήμου. Η έρημος αποτελεί μια βασική πηγή νανοσωματιδίων, τα οποία με τη βοήθεια του αέρα διαχέονται στην ατμόσφαιρα (Sharon, 2019).

Τα νανοϋλικά που υπάρχουν στη φύση, ανάλογα με την πηγή προέλευσής τους, μπορούν να χωριστούν σε τέσσερις κατηγορίες: α) Νανοϋλικά που έχουν προκύψει από εκρήξεις και ηφαιστειακές δραστηριότητες, β) ορυκτά, τα οποία χαρακτηρίζονται από κρυσταλλική δομή, όπως ο πηλός, γ) φυσικά κολλοειδή υγρά, όπως το γάλα και το αίμα και δ) φυσικά ορυκτά υλικά, όπως τα κοχύλια, τα κοράλλια και τα οστά (Kumar & Kumbhat, 2016).

Εκτός από τα φυσικά νανοϋλικά, νανοσωματίδια και νανοδομές υπάρχουν και σε ζωντανούς οργανισμούς. Αυτοί μπορεί να είναι μικροοργανισμοί, όπως βακτήρια, φύκια και ιοί ή σύνθετοι οργανισμοί, όπως φυτά, έντομα, πουλιά, ζώα, ακόμη και ο άνθρωπος. Όλες αυτές οι νανοδομές έχουν βοηθήσει αυτούς τους οργανισμούς να επιβιώσουν και οδηγούν στην εξέλιξή τους. Τα έντομα παρουσιάζουν νανοδομές οι οποίες έχουν σχηματιστεί μέσα από την εξελικτική διαδικασία και τα βοηθούν να επιβιώνουν. Στα φτερά πολλών εντόμων, για παράδειγμα, υπάρχουν νανοδομές οι οποίες είναι ικανές να

δημιουργούν μια αντι-ανακλαστική επιφάνεια, η οποία βοηθά στην κάλυψη και την προστασία τους από τους εχθρούς. Σε άλλες περιπτώσεις, δομές νανομεγέθους, προσδίδουν στην επιφάνεια των φτερών υδροφοβικές και αυτοκαθαριστικές ιδιότητες (Watson, et al., 2010). Τα φυτά, επίσης, χρησιμοποιούν νανοδομές, οι οποίες βοηθούν στην πρόσληψη θρεπτικών συστατικών (π.χ. στη φωτοσύνθεση) και στην προστασία τους από το περιβάλλον, ενώ τα ζώα χρησιμοποιούν νανοδομές τόσο για την προστασία τους από εχθρούς όσο και για την επιβίωσή τους. Τέλος, οι άνθρωποι διαθέτουν νανοδομές σε διάφορα όργανά τους (π.χ. οστά), καθώς και αντισώματα και ένζυμα τα οποία βρίσκονται στη νανομετρική κλίμακα. Το DNA και τα συστατικά των κύτταρων βρίσκονται στην κλίμακα του νανόμετρου, γεγονός που κάνει τις νανοδομές να θεωρούνται τα βασικά θεμέλια της ζωής (Jeevanandam, Barhoum, Chan, Dufresne, & Danquah, 2018).

#### **1.4.1. Η Νανοτεχνολογία στα Φυτά**

Πολλά φυτά οφείλουν κάποιες από τις ιδιότητες τους στη δομή τους, η οποία περιλαμβάνει σωματίδια επιπέδου νανοκλίμακας. Για παράδειγμα, το ξύλο, οφείλει την αντοχή του και τις ιδιότητες απόδοσης που έχει σε νανοϊνες που υπάρχουν στη δομή του. Επίσης, τα φύλλα των φυτών περιέχουν νανοδομές, οι οποίες εξυπηρετούν σκοπούς όπως τη σταθερότητα, την ανάκλαση και απορρόφηση της ακτινοβολίας, την προστασία από τα έντομα.

Η πιο γνωστή ιδιότητα νανοδομών στα φυτά είναι η υπερυδροφοβία, η οποία παρουσιάζεται στα φύλλα του λωτού, και τους προσδίδει αυτοκαθαριστικές ιδιότητες. Η ικανότητα αυτοκαθαρισμού που παρουσιάζουν τα φύλλα του λωτού είναι γνωστή ως το «φαινόμενο του λωτού». Το άνθος του λωτού διατηρεί καθαρά τα φύλλα του εξαιτίας νανοδομών που υπάρχουν στην επιφάνεια τους, οι οποίες τους προσδίδουν υπερυδροφοβική ικανότητα. Το νερό της βροχής που πέφτει στην επιφάνεια των φύλλων, εξαιτίας των νανοδομών, δεν απλώνεται, αλλά σχηματίζει σφαιρικές σταγόνες οι οποίες γλιστρούν με μεγάλη ταχύτητα συμπαρασύροντας και απομακρύνοντας τις ακαθαρσίες, καθαρίζοντας έτσι την επιφάνεια των φύλλων. Το «φαινόμενο του λωτού», βρίσκει ήδη πολλές εφαρμογές, σήμερα, κυρίως σε προϊόντα χρωμάτων επικάλυψης προσόψεων και ειδών υγιεινής (Schulenburg, 2007).



**Εικόνα 1.9:** Το φαινόμενο του λωτού. Πηγή:

<https://pubs.rsc.org/en/content/articlehtml/2020/ra/d0ra06533a#cit12>

Τα φύλλα των φυτών παρουσιάζουν και άλλες ιδιότητες οι οποίες οφείλονται σε νανοδομές. Για να είναι ικανά να κάνουν σωστή διαχείριση του νερού χρησιμοποιούν μικροσκοπικούς μύες, οι οποίοι ανοίγουν ή κλείνουν διαύλους στο τριχοειδές σύστημα των φυτών (Schulenburg, 2007). Επίσης, στα φύλλα των φυτών πραγματοποιείται η φωτοσύνθεση, η διαδικασία με την οποία γίνεται η πρόσληψη της ηλιακής ενέργειας. Η φωτοσύνθεση γίνεται στους χλωροπλάστες, οι οποίοι είναι μεγέθους νανόμετρου και μικρόμετρου (Varadan, Chen, & Xie, 2008).

#### **1.4.2. Η Νανοτεχνολογία στα Ζώα και στον Άνθρωπο**

Ιδιότητες οι οποίες οφείλονται σε νανοδομές, εκτός από τα φυτά, παρατηρούνται και στα ζώα. Αρχικά, πολλά έντομα παρουσιάζουν στην επιφάνεια των πτερυγίων δομές νανοκλίμακας, οι οποίες τους προσδίδουν ιδιότητες όπως σταθερότητα, μείωση του μεγέθους και υδροφοβικότητα. Τα χρώματα των φτερών των πεταλούδων, επίσης, αποδίδονται σε ιδιότητες νανοδομών. Μύγες, αράχνες και σαύρες χρησιμοποιούν μηχανισμούς προσκόλλησης, έτσι ώστε να είναι ικανές να κινούνται πάνω σε τοίχους ή να κρέμονται από το ταβάνι (Jeevanandam, Barhoum, Chan, Dufresne, & Danquah, 2018).

Χαρακτηριστικό παράδειγμα εφαρμογής νανοδομών αποτελούν οι σαύρες gecko. Οι σαύρες gecko έχουν την ικανότητα να αναρριχούνται σε οποιαδήποτε επιφάνεια, να κινούνται με μεγάλη ταχύτητα ακόμα και στο ταβάνι, να κρέμονται συγκρατώντας ολόκληρο το βάρος τους μόνο με το ένα πόδι αψηφώντας τη βαρύτητα. Την ικανότητά τους αυτή την οφείλουν στο γεγονός ότι το πέλμα τους είναι εφοδιασμένο με εκατομμύρια τριχίδια μεγέθους νανόμετρων, τα οποία τους προσφέρουν απεριόριστη

πρόσφυση. Έτσι, είναι ικανές, χωρίς κόπο, να αντιστέκονται στην ελκτική δύναμη της Γης (Schulenburg, 2007).

Άλλα παραδείγματα αποτελούν τα μύδια και ο αστερίας *Ophiocoma Wendtil*. Τα μύδια, αρχικά, για να επιτύχουν την προσκόλλησή τους στους βράχους, εκκρίνουν σφαιρίδια συγκολλητικής ύλης σχηματίζοντας μικρά μαξιλάρια αφρού, έτσι ώστε να απορροφούνται οι κραδασμοί που προκαλούν τα κύματα και να μην κινδυνεύουν. Ο αστερίας *Ophiocoma Wendtil*, επίσης, ενώ παρατηρώντας τον φαίνεται ότι δεν διαθέτει μάτια, έχει την ικανότητα με το παραμικρό ενδεχόμενο κινδύνου να κρύβεται. Αυτή την ικανότητα την οφείλει στον θώρακά του, ο οποίος είναι γεμάτος με τέλειους μικροφακούς, οι οποίοι μετατρέπουν ολόκληρο το σώμα του σε ένα πολύπλοκο μάτι (Schulenburg, 2007). Σε νανοδομές οφείλονται και ιδιότητες όπως η ανθεκτικότητα, η ακαμψία και η αντοχή, που παρουσιάζουν διάφορα μαλάκια (Jeevanandam, Barhoum, Chan, Dufresne, & Danquah, 2018).

Το ανθρώπινο σώμα, τέλος, αποτελείται κατεξοχήν από νανοδομές. Τέτοιες νανοδομές είναι το DNA, τα αντισώματα, τα διάφορα ένζυμα, οι πρωτεΐνες, τα λιπίδια, τα πεπτίδια και οι πολυσακχαρίτες. Επίσης, από νανοδομές σχηματίζονται τα οστά. Ιοί και βακτήρια, οι οποίοι συνδέονται άμεσα με τον ανθρώπινο οργανισμό, αποτελούν και αυτοί νανοδομές. Ολόκληρη η λειτουργία του ανθρώπινου οργανισμού, λοιπόν, βασίζεται σε νανοδομές από τις οποίες εξαρτάται η ζωή του ανθρώπου (Jeevanandam, Barhoum, Chan, Dufresne, & Danquah, 2018).

## **1.5. Η Νανοτεχνολογία στη σημερινή πραγματικότητα**

Στη σύγχρονη εποχή όλα τα βλέμματα έχουν πέσει πάνω στη Νανοτεχνολογία και στις καινοτόμες ιδέες της. Συνεχώς κατασκευάζονται νέες συσκευές και προϊόντα που οφείλουν τις ιδιότητές τους σε δομές της νανοκλίμακας. Με αυτόν τον τρόπο κατασκευάζονται βελτιωμένα προϊόντα, περισσότερο ανθεκτικά, πιο ελαφριά, με νέες οπτικές, ηλεκτρικές και μαγνητικές ιδιότητες. Σήμερα, προϊόντα και εφαρμογές Νανοτεχνολογίας παρουσιάζονται σε διάφορους επιστημονικούς τομείς.

### **1.5.1. Εφαρμογές στην Ηλεκτρονική-Πληροφορική**

Τα τελευταία χρόνια η επιστήμη της Πληροφορίας έχει στρέψει το βλέμμα της προς τη Νανοεπιστήμη και τη Νανοτεχνολογία. Πλήθος εφαρμογών, βασισμένες σε υλικά

νανοκλίμακας, προσδίδουν νέες ιδιότητες και νέες δυνατότητες στις ηλεκτρονικές συσκευές δίνοντας νέα ώθηση στην εξέλιξη της τεχνολογίας. Δίνεται, πλέον, η δυνατότητα να αναπτυχθούν πολύ μικρές συσκευές κυκλωμάτων στους ηλεκτρονικούς υπολογιστές παρουσιάζοντας πολύ βελτιωμένες ιδιότητες. Αυτά τα νέα κυκλώματα είναι πυκνότερα και παρουσιάζουν νέα αρχιτεκτονική δομή, κάτι που τα κάνει πιο ισχυρά (Allhoff, Lin, & Moore, 2010). Τα «τσιπ» των υπολογιστών έχουν εισέλθει στην κλίμακα των νανόμετρων, καθώς οι πρώτες πύλες τρανζίστορ με μέγεθος μικρότερο από 100 nm εμφανίστηκαν από το 2000 (Minoli, 2006). Τα τρανζίστορ, πλέον, είναι μικρότερα, ελαφρύτερα, ταχύτερα, με λιγότερες ενεργειακές απαιτήσεις και πιο αξιόπιστα (Ramsden, 2014). Βασικό δομικό υλικό για την κατασκευή των μικροτσιπ αποτελούν τα νανοσύρματα, τα οποία είναι ηλεκτρικοί αγωγοί νανοκλίμακας και παρουσιάζουν χαρακτηριστικές οπτικές ιδιότητες. Την απόλυτη μορφή νανοσυρμάτων αποτελούν οι νανοσωλήνες. Οι νανοσωλήνες άνθρακα, συγκεκριμένα, παρουσιάζουν πολλές εφαρμογές στην ηλεκτρονική και θεωρούνται η βάση για την κατασκευή ηλεκτρονικών συσκευών του μέλλοντος (Minoli, 2006).

Οι νανοσωλήνες άνθρακα και γραφενίου, εξαιτίας των εξαιρετικών χημικών, μηχανικών, ηλεκτρικών και οπτικών ιδιοτήτων τους, θεωρούνται ως τα πιο πολλά υποσχόμενα νανοϋλικά άνθρακα. Η παραγωγή οργανικών παραγώγων, υβριδίων και νανοσύνθετων άνθρακα μπορεί να τους προσδώσει ακόμη περισσότερες ιδιότητες. Έτσι, οι νανοδομές άνθρακα, εξαιτίας της εξαιρετικής ηλεκτρικής τους αγωγιμότητας, της πλαστικότητάς τους και της θερμικής και χημικής τους σταθερότητας, είναι ιδανικές για την ανάπτυξη ευέλικτων συσκευών όπως βιοαισθητήρων, κεραιών ραδιοσυχνοτήτων και ηλεκτρονικών οθονών. Επίσης, είτε ως καθαρές νανοδομές, είτε ως πολυμερή νανοσύνθετα, μπορούν να χρησιμοποιηθούν στον τομέα της έντυπης ηλεκτρονικής. Η παρουσία νανοσύνθετων σε μελάνια εκτύπωσης μπορεί να προσφέρει βελτιωμένες ιδιότητες όπως σταθερότητα, ευελιξία, αντοχή στην θερμότητα και την τριβή και υψηλή ποιότητα εκτύπωσης (Koutsoukias, Georgakilas, Belessi, & Zboril, 2017). Η χρησιμοποίηση παραγώγων γραφενίου στη δημιουργία ηλεκτρικά αγώγιμων μελανιών προσδίδει μεγάλες δυνατότητες στην κατασκευή ευέλικτων έντυπων ηλεκτρονικών εφαρμογών, οι οποίες έχουν ως βάση το γραφένιο. Παράγωγα γραφενίου τα οποία παρουσιάζουν υψηλή ηλεκτρική αγωγιμότητα και ικανότητα διασποράς στο νερό, μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως αγώγιμα μελάνια στην ανάπτυξη τυπωμένων ηλεκτρονικών



χρησιμοποιώντας διάφορες μεθόδους εκτύπωσης, οι οποίες μπορούν να εφαρμοστούν στον σχεδιασμό και την κατασκευή πλήθους ηλεκτρονικών προϊόντων, αποτελεί μια απλή και οικονομική λύση (Belessi, et al., 2019; Koutsioukis, Georgakilas, Belessi, & Zboril, 2017).

Πολλά προϊόντα τα οποία διαθέτουν ιδιότητες νανοκλίμακας είναι πλέον διαθέσιμα. Οι σκληροί δίσκοι υπολογιστών έχουν αυξήσει σημαντικά τη χωρητικότητά τους χρησιμοποιώντας μαγνητικά υλικά νανοκλίμακας (Minoli, 2006). Οι μνήμες τυχαίας προσπέλασης (RAM) έχουν αποκτήσει νέες αποθηκευτικές δυνατότητες κάνοντας τις ηλεκτρονικές συσκευές πολύ ισχυρές. Οι οθόνες OLED, οι οποίες χρησιμοποιούνται σε πληθώρα συσκευών, παρέχουν βελτιωμένη ποιότητα εικόνας, καλύτερες γωνίες θέασης και μεγαλύτερη διάρκεια ζωής, καταναλώνοντας λιγότερη ενέργεια (Kumar & Kumbhat, 2016). Οι ηλεκτρονικοί υπολογιστές έχουν γίνει ταχύτεροι με δυνατότητες που μοιάζουν απεριόριστες, ενώ τα γραφικά των ηλεκτρονικών παιχνιδιών έχουν εξελιχτεί τόσο που τα κάνουν να μοιάζουν αληθινά (Χαριτίδης & Βιδάλης, 2010).

Η Νανοτεχνολογία έχει δώσει νέα ώθηση στην πληροφορική δημιουργώντας τεράστιες προσδοκίες για το μέλλον της επιστήμης προκαλώντας την αίσθηση ότι τίποτα δεν είναι τεχνολογικά ανέφικτο.

### **1.5.2. Εφαρμογές στο Περιβάλλον και στην Ενέργεια**

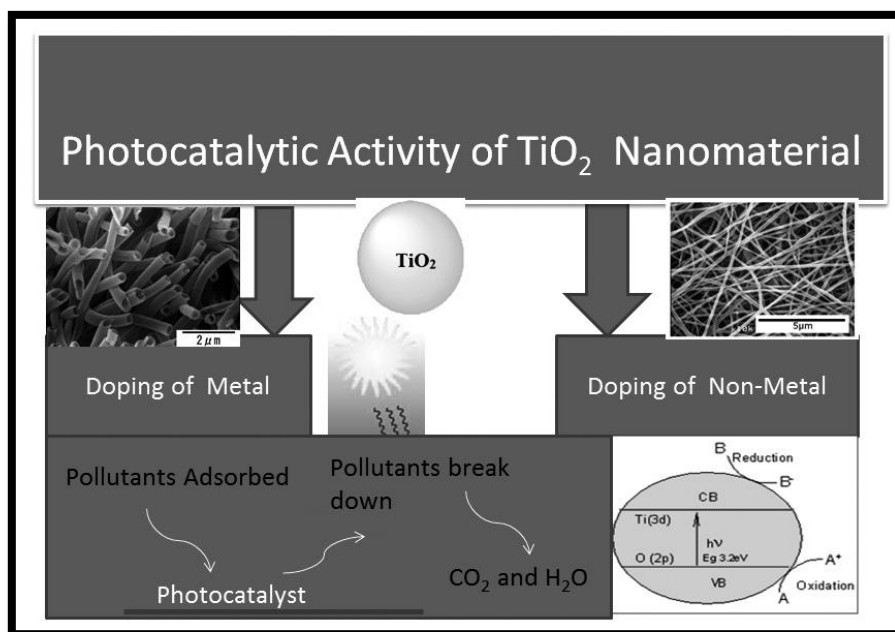
Στη σύγχρονη εποχή υπάρχει μεγάλος προβληματισμός σχετικά με το αν η Νανοτεχνολογία είναι ικανή να βοηθήσει στην επίλυση διαφόρων περιβαλλοντικών προβλημάτων ή αν οι επιβλαβείς συνέπειες της παραγωγής και χρήσης νανοϋλικών για το περιβάλλον είναι περισσότερες. Αν και οι αρνητικές επιπτώσεις της Νανοτεχνολογίας στο περιβάλλον είναι πιθανές, υπάρχουν πολλές εφαρμογές της οι οποίες οδηγούν προς την αντίθετη κατεύθυνση. Οι περισσότερες νανοτεχνολογικές εφαρμογές αφορούν στη δημιουργία υλικών τα οποία έχουν ως στόχο την αντιρρύπανση, την προστασία του περιβάλλοντος και την κατασκευή αισθητήρων εντοπισμού ρύπων (Ibrahim, et al., 2020).

Η Νανοτεχνολογία, αρχικά, μπορεί να παίξει καθοριστικό ρόλο στη μείωση της ρύπανσης του περιβάλλοντος. Τα νανοϋλικά, εξαιτίας του πολύ μικρού τους μεγέθους αλλά και των ιδιοτήτων που παρουσιάζουν, μπορούν να αποτελέσουν τη βάση για την κατασκευή συσκευών, οι οποίες θα είναι ικανές να ανιχνεύουν τους ρύπους και να αντιδρούν ενεργά μειώνοντας την τοξικότητά τους ή κάνοντας τα υλικά περισσότερο

ανθεκτικά απέναντί τους (Kumar & Kumbhat, 2016). Αισθητήρες με βάση τα νανοϋλικά, οι οποίοι είναι ικανοί να εντοπίζουν και να διορθώνουν προβλήματα, χρησιμοποιούνται σε συστήματα καθαρισμού του νερού (Καθαρισμός Πετρελαιοκηλίδων με Μαγνήτες: Τεχνολογία του MIT, 2012), στην ανίχνευση τοξικών ουσιών και στην αποκατάστασή τους (Sharon, 2019). Εφαρμογές Νανοτεχνολογίας μπορούν, επίσης, να οδηγήσουν στη μείωση της παραγωγής τοξικών βιομηχανικών αποβλήτων, μειώνοντας την ποσότητα και την τοξικότητα των υλικών. Ακόμη, είναι δυνατή η παραγωγή επιστρώσεων, οι οποίες αποικοδομούν τους ρύπους έχοντας ταυτόχρονα ικανότητα αυτοκαθαρισμού. Φίλτρα και μεμβράνες νανομεγέθους χρησιμοποιούνται για τον καθαρισμό και την απολύμανση του αέρα και του νερού, καθώς και εφαρμογές αποκατάστασης μολυσμένου νερού μειώνοντας ή ακόμη και εξουδετερώνοντας τους ρύπους (Kumar & Kumbhat, 2016).

Αξίζει να γίνει αναφορά στις δύο βασικές τεχνικές που χρησιμοποιούνται για τη μείωση της ρύπανσης των υδάτων και την απομάκρυνση των ρύπων, που είναι η προσρόφηση (absorption) και η φωτοκατάλυση (photocatalysis). Η προσρόφηση είναι μια απλή και χαμηλού κόστους μέθοδος, η οποία δεν παράγει τοξικές ουσίες. Η φωτοκατάλυση αποτελεί μια διαδικασία οξειδωσης, η οποία εκμεταλλεύεται την ηλιακή ενέργεια και χρησιμοποιείται για την καταστροφή τοξικών και επικίνδυνων ρύπων σε χαμηλές συγκεντρώσεις. Με τη φωτοκατάλυση είναι δυνατή τόσο η απομάκρυνση βλαβερών αερίων από τον αέρα, όσο και η απομάκρυνση υγρών αποβλήτων από το νερό (Μπέλεση, 2007). Σήμερα, γίνεται χρήση τροποποιημένων ή μη τροποποιημένων νανοσωματίδιων τιτανίου τόσο σε διαδικασίες προσρόφησης όσο και φωτοκατάλυσης. Τα νανοσωματίδια διοξειδίου του τιτανίου ( $\text{TiO}_2$ ) παρουσιάζουν μεγάλες δυνατότητες προσρόφησης βαρέων μετάλλων, τα οποία αποτελούν πολύ σοβαρή κατηγορία ρύπων. Το  $\text{TiO}_2$  φαίνεται να είναι το σημαντικότερο υλικό προς αυτή την κατεύθυνση, γεγονός που έχει οδηγήσει σε πολλές επιτυχημένες προσπάθειες τροποποίησης του, με στόχο τη βελτίωση των ιδιοτήτων του. Τροποποιημένα παράγωγα και σύνθετα υλικά με  $\text{TiO}_2$  χρησιμοποιούνται ευρέως στην επεξεργασία λυμάτων και τον καθαρισμό των υδάτων (Belessi & Petridis, 2014). Βασικά θετικά στοιχεία της χρήσης σύνθετων υλικών  $\text{TiO}_2$  χρησιμοποιούνται ευρέως στην αποσύνθεση των οργανικών ρύπων καθώς η χρήση τους παρουσιάζει χαμηλό κόστος και χειρισμός τους είναι αρκετά εύκολος (Belessi, et al., 2007). Επίσης, τα νανοσωματίδια  $\text{TiO}_2$ , καθώς παρουσιάζουν υψηλή προσροφητική ικανότητα, μπορούν να χρησιμοποιηθούν αποτελεσματικά στην αφαίρεση χρωστικών

ουσιών από υδάτινα διαλύματα (Belessi, Romanos, Boukos, Lambropoulou, & Trapalis, 2009). Τα νανοσύνθετα του  $\text{TiO}_2$ , εκτός του ότι παρουσιάζουν πολύ καλή καταλυτική δραστηριότητα απέναντι στους οργανικούς ρύπους, μπορούν να επαναχρησιμοποιηθούν αρκετές φορές, χωρίς να παρατηρείται σημαντική μείωση της αποτελεσματικότητάς τους καθιστώντας έτσι το  $\text{TiO}_2$  ως τον πιο πολλά υποσχόμενο φωτοκαταλύτη για χρήση σε περιβαλλοντικές εφαρμογές (Belessi, et al., 2009).



**Εικόνα 1.10:** Φωτοκαταλυτική δραστηριότητα νανοσωματιδίων  $\text{TiO}_2$ . Πηγή: <https://jcchems.com/index.php/JCCEMS/article/view/459>

Η Νανοτεχνολογία μπορεί να ωφελήσει, επίσης, και τον τομέα της ενέργειας, ο οποίος έρχεται σε άμεση αλληλεπίδραση με το περιβάλλον. Καθώς οι ορυκτές πηγές ενέργειας έχουν αρχίσει να εξαντλούνται, οι ιδιότητες των νανοϋλικών μπορούν να δώσουν νέες λύσεις στην παραγωγή ενέργειας δίνοντας δυνατότητες για παροχή καθαρής και βιώσιμης ενέργειας (Kumar & Kumbhat, 2016). Τα νανοσωματίδια θεωρούνται πως μπορούν να βοηθήσουν σημαντικά στην παραγωγή ανανεώσιμων πηγών ενέργειας λόγω των ιδιαίτερων χαρακτηριστικών τους (Ibrahim, et al., 2020). Γίνεται δυνατή η παραγωγή φωτοβολταϊκών, χαμηλού κόστους, για την παραγωγή ηλιακής ενέργειας (Kumar & Kumbhat, 2016). Θερμοηλεκτρικές συσκευές, βασισμένες στη Νανοτεχνολογία θα φανούν χρήσιμες στην εξοικονόμηση ενέργειας, μετατρέποντας τη θερμότητα σε ηλεκτρισμό (Kumar & Kumbhat, 2016), ενώ νανογεννήτριες παράγουν ενέργεια μετατρέποντας τη μηχανική ενέργεια σε ηλεκτρική (Ibrahim, et al., 2020).

Όσον αφορά την αποθήκευση και τη μεταφορά ενέργειας, χρησιμοποιούνται νέες μπαταρίες οι οποίες έχουν δυνατότητα αποθήκευσης περισσότερης ενέργειας κάνοντάς τες περισσότερο αποδοτικές και χαρίζοντάς τους μεγαλύτερη διάρκεια ζωής, επιτυγχάνοντας, ταυτόχρονα, ταχύτερο ρυθμό φόρτισης (Khan, Saeed, & Khan, 2019). Νανοϋλικά, όπως νανοσωματίδια άνθρακα, χρησιμοποιούνται σε νέες μπαταρίες αυξάνοντας την αποτελεσματικότητά τους (Sharon, 2019). Συνοψίζοντας τα βασικά χαρακτηριστικά που προσδίδει στις μπαταρίες η χρήση νανοσωματιδίων είναι η μεγάλη διάρκεια ζωής, η υψηλότερη ισχύς και η ικανότητα ταχύτερης επαναφόρτισης.

### **1.5.3. Εφαρμογές στη Βιομηχανία Αυτοκινήτων**

Η αυτοκινητοβιομηχανία είναι ένας τομέας ο οποίος έχει στραφεί στη Νανοτεχνολογία, τα τελευταία χρόνια, και επιδιώκει να επωφεληθεί από τις ιδιότητες των νανοϋλικών, κάνοντας τα αυτοκίνητα πιο ασφαλή, πιο αποδοτικά, πιο φιλικά προς το περιβάλλον, πιο οικονομικά ως προς την κατανάλωση καυσίμου, αλλά και πιο προσιτά προς τον αγοραστή. Νανοτεχνολογικές εφαρμογές χρησιμοποιούνται στα διάφορα μέρη του αυτοκινήτου, στους κινητήρες, στους εσωτερικούς χώρους, στα ηλεκτρικά και στα ελαστικά.

Σε διάφορα μέρη του αυτοκινήτου χρησιμοποιούνται εξελιγμένες βαφές, οι οποίες με την ενσωμάτωση νανοσωματιδίων παρουσιάζουν νέες ιδιότητες. Κάποιες από αυτές τις ιδιότητες είναι η προστασία από τη διάβρωση, τα έντονα λαμπερά χρώματα, η υψηλή αντοχή στις γρατσουνιές και στη φθορά που παρουσιάζεται λόγω τριβής. Οι νέες βαφές μπορεί να έχουν ιδιότητες αυτοκαθαρισμού και αντίστασης απέναντι στους ρύπους ή ακόμα και να μην επιτρέπουν τη δημιουργία δακτυλικών αποτυπωμάτων (Jinu, Joga, & Soney, 2019) ή την αντανάκλαση του φωτός (Horikoshi & Serpone, 2013).

Η αυτοκινητοβιομηχανία επιδιώκει, επίσης, τη μείωση του βάρους των αυτοκινήτων, χωρίς όμως αυτή να έχει επιπτώσεις σε άλλους τομείς, όπως στην ποιότητα κατασκευής, στην αντοχή και στην ασφάλεια των επιβατών. Η μείωση του βάρους αυξάνει τις επιδόσεις των αυτοκινήτων, μειώνει την κατανάλωση καυσίμου και τις εκπομπές καυσαερίων. Για την επίτευξη του σκοπού αυτού έχουν επιστρατευτεί νανοϋλικά αντικαθιστώντας τα συμβατικά υλικά. Νανοσωλήνες άνθρακα (έχουν πολύ μικρότερο βάρος και είναι 150 φορές ισχυρότεροι) έχουν αντικαταστήσει τον χάλυβα

προσδίδοντας στα διάφορα μέρη που χρησιμοποιούνται, μεγαλύτερη αντοχή με ταυτόχρονη μείωση του βάρους (Jinu, Joya, & Soney, 2019).



**Εικόνα 1.11:** Η χρήση νανοϋλικών στην Αυτοκινητοβιομηχανία. Πηγή: <http://www.pngall.com/wp-content/uploads/2/Sedan-Car-PNG.png>

Τα ελαστικά των αυτοκινήτων ίσως να αποτελούν τον τομέα της αυτοκινητοβιομηχανίας όπου εφαρμόζεται περισσότερο η Νανοτεχνολογία, μιας και η κατασκευή τους απαιτεί τη χρήση σύνθετων υλικών, έτσι ώστε τα ελαστικά να αποκτήσουν τις επιθυμητές ιδιότητες. Με την προσθήκη νανοσωματιδίων, τα ελαστικά φαίνεται να βελτιώνουν σημαντικά την ανθεκτικότητά τους, την αντοχή στην τριβή, την πρόσφυση και την ποιότητα κύλισης (Jinu, Joya, & Soney, 2019). Επίσης, τα ελαστικά μπορούν να εξασφαλίζουν σταθερή την πίεση του αέρα, να διατηρούν σταθερή θερμοκρασία κατά την κίνηση του αυτοκινήτου, να έχουν μικρότερο βάρος και χαμηλότερο κόστος αγοράς (Χαριτίδης & Βιδάλης, 2010).

Οι ιδιότητες των νανοϋλικών φαίνονται εξίσου χρήσιμες και στην απόδοση του κινητήρα. Η χρήση νανοσωματιδίων σε λιπαντικά και ψυκτικά υγρά βοηθούν στη μείωση της εκπομπής θερμότητας από τον κινητήρα και στην ταχύτερη ψύξη του βελτιώνοντας σημαντικά την απόδοσή του (Jinu, Joya, & Soney, 2019). Επίσης, χρησιμοποιούνται νέοι καταλύτες νανοϋλικών, οι οποίοι μετατρέπουν τις επιβλαβείς εκπομπές του κινητήρα σε

αέρια περισσότερο φιλικά προς το περιβάλλον. Με στόχο τη μείωση της ρύπανσης, χρησιμοποιούνται νανοαισθητήρες, οι οποίοι ελέγχουν και μειώνουν τους ρύπους. Προς αυτή την κατεύθυνση γίνεται χρήση και εναλλακτικών πηγών καυσίμου, όπως για παράδειγμα του υδρογόνου (Sharon, 2019). Τέλος, στο εσωτερικό του αυτοκινήτου, η Νανοτεχνολογία εξυπηρετεί κυρίως αντιβακτηριδιακούς και αντιμικροβιακούς σκοπούς κάνοντας χρήση νανοσωματιδίων στα διάφορα υλικά και στα υφάσματα.

#### **1.5.4. Εφαρμογές στον τομέα των τροφίμων και της συσκευασίας**

Στη βιομηχανία τροφίμων, η Νανοτεχνολογία βρίσκει εφαρμογή τόσο στον τομέα της συσκευασίας, όσο και στον τομέα των ίδιων των τροφίμων. Ο πρώτος τομέας αφορά την εφαρμογή ιδιοτήτων των νανοϋλικών με σκοπό την κατασκευή «έξυπνων» ή «ενεργών» συσκευασιών, καθώς και τη βελτίωση των συμβατικών συσκευασιών, ενώ ο δεύτερος αφορά τη χρήση και ενσωμάτωση νανοσωματιδίων στα ίδια τα τρόφιμα, με σκοπό τη βελτίωση της λειτουργικότητάς τους.

Η χρήση νανοϋλικών στις συσκευασίες τροφίμων μπορεί να αποδειχθεί πολύτιμη με διάφορους τρόπους. Αρχικά, με τη δημιουργία «έξυπνων» συσκευασιών», οι οποίες έχουν ενσωματωμένους νανοαισθητήρες, γίνεται δυνατός ο εντοπισμός παθογόνων μικροοργανισμών, πληροφορώντας τους πελάτες σχετικά με την ασφάλεια των τροφίμων (Davarcioglu, 2017). Επίσης, είναι δυνατή η ενίσχυση της συσκευασίας με νανοπροϊόντα με στόχο τη διατήρηση της φρεσκάδας τους (Ramsden, 2014), αλλά και την προειδοποίηση του καταναλωτή, αλλάζοντας χρώμα, όταν τα τρόφιμα αλλοιωθούν ή χαλάσουν. Με τη χρήση νανοσωματιδίων, η συσκευασία των τροφίμων γίνεται περισσότερη αποτελεσματική απέναντι στα αέρια είτε εμποδίζοντάς τα να προκαλέσουν αλλοιώσεις στα τρόφιμα (Bajrai, et al., 2018), είτε ελέγχοντας τη διαπερατότητα του αερίου. Επιτυγχάνεται έτσι, η παράταση της διάρκειας ζωής τους. Τέλος, οι συσκευασίες μπορούν να αποκτήσουν αντιμικροβιακές ιδιότητες (Ramsden, 2014), καθώς ενεργά νανοϋλικά μπορούν να χρησιμοποιηθούν στην παραγωγή βιοαισθητήρων, οι οποίοι είναι ικανοί να προσδιορίζουν την ποσότητα των μικροβίων (Bajrai, et al., 2018).

Η ενσωμάτωση νανοϋλικών στα τρόφιμα, αν και αμφιλεγόμενη, στοχεύει στη βελτίωση της λειτουργικότητάς τους και στην ανάπτυξη νέων τροφίμων με καινοτόμες ιδιότητες (Davarcioglu, 2017; Ramsden, 2014). Τα νανοϋλικά, χρησιμοποιούνται, συνήθως, ως πρόσθετα τροφίμων (Davarcioglu, 2017) και βελτιώνουν τη λειτουργικότητά

τους, είτε με την εξάλειψη τοξικών ουσιών είτε με την ενίσχυση των τροφών με συμπληρώματα διατροφής, μεγέθους νανοκλίμακας (Bajrai, et al., 2018). Έτσι, αυξάνεται η διατροφική αξία και οι φυσικές ιδιότητες των τροφών και επιτυγχάνεται μεγαλύτερη διάρκεια ζωής (Bajrai, et al., 2018). Χρήση νανοσωματιδίων και νανοδομών γίνεται ευρέως στην παραγωγή φρούτων και λαχανικών επηρεάζοντας το χρώμα, τη γεύση, τον τρόπο ωρίμανσης και εμποδίζοντας τη γήρανση, τη φθορά και τη μικροβιακή αλλοίωση (Bajrai, et al., 2018).

#### **1.5.5. Εφαρμογές στην Ιατρική και τη Φαρμακευτική**

Ο τομέας στον οποίο έχουν στραφεί οι περισσότερες έρευνες σχετικά με τον τρόπο αξιοποίησης εφαρμογών της Νανοτεχνολογίας είναι ο τομέας της Ιατρικής. Η Ιατρική χρησιμοποιεί νανοτεχνολογικές εφαρμογές με σκοπό τόσο την πρόληψη και τη διάγνωση, όσο και τη θεραπεία ασθενειών (Hook, 2007 ; Kiparissides & Kammona, 2015). Τέτοιες εφαρμογές μπορούν να οδηγήσουν σε θεραπεία ασθενειών όπως της ηπατίτιδας και του καρκίνου.

Η Ιατρική εκμεταλλεύεται τις οπτικές, ηλεκτρικές και μαγνητικές ιδιότητες των νανοϋλικών καθώς και τη δυνατότητα αλληλεπίδρασής τους με τα βιομόρια του οργανισμού που μπορούν να λειτουργήσουν είτε ως μόρια στόχοι είτε ως μέσα διάγνωσης ασθενειών. Νανοαισθητήρες ικανοί για διάγνωση αλλά και παρακολούθηση της πορείας ασθενειών μπορούν να οδηγήσουν σε στοχευμένη θεραπεία (Kiparissides & Kammona, 2015). Ένα ολόκληρο θεραπευτικό σύστημα νανομεγέθους είναι ικανό για διάγνωση, παροχή συγκεκριμένης θεραπείας και παρακολούθηση της πορείας της θεραπείας ασθενειών παρέχοντας δυνατότητες παρέμβασης αλλά και δημιουργίας νέων φαρμάκων (Kiparissides & Kammona, 2015 ; Nobile & Nobile, 2019).

Η Νανοτεχνολογία χρησιμοποιείται, επίσης, στον σχεδιασμό και την κατασκευή φαρμάκων έχοντας ως βασικό στόχο την αύξηση της αποτελεσματικότητάς τους. Η ενσωμάτωση νανοσωματιδίων στα φάρμακα επιτρέπει τον σχεδιασμό νέων φαρμάκων με βελτιωμένες ιδιότητες (Kiparissides & Kammona, 2015). Η χρήση, για παράδειγμα νανοσωλήνων άνθρακα (Hook, 2007), βοηθάει σημαντικά στη μεταφορά, την εισχώρηση και απορρόφησή φαρμάκων από τους ιστούς (Kiparissides & Kammona, 2015). Νανοσωματίδια τα οποία λειτουργούν ως μεταφορείς φαρμάκων χρησιμοποιούνται,

ήδη, για τη θεραπεία ασθενειών του εγκεφάλου με κύριο στόχο τη διάγνωση (Nobile & Nobile, 2019).

Μεγάλη προσπάθεια έχει γίνει στην εφαρμογή Νανοτεχνολογίας στην διάγνωση και θεραπεία του καρκίνου. Νανοϋλικά, όπως νανοσωματίδια χρυσού και νανοσωλήνες άνθρακα, χρησιμοποιούνται έτσι ώστε να εντοπισθεί έγκαιρα η ασθένεια, να σχεδιαστεί εξειδικευμένη θεραπεία και να ακολουθήσει παρακολούθηση της εξέλιξής της (Adir, et al., 2019). Προς αυτή την κατεύθυνση, μπορούν να χρησιμοποιηθούν φάρμακα τα οποία θα λειτουργούν στοχευμένα σε συγκεκριμένα κύτταρα χωρίς να καταστρέφουν τα υγιή (Adir, et al., 2019). Φάρμακα τα οποία ενσωματώνουν νανοσωματίδια είναι ικανά να στοχεύουν σε συγκεκριμένα καρκινικά κύτταρα μειώνοντας την τοξικότητα και την αντοχή τους (Nobile & Nobile, 2019).

Τέλος, παρέχεται η δυνατότητα σχεδιασμού συσκευών, οι οποίες θα είναι ικανές να επεμβαίνουν σε συγκεκριμένα κύτταρα και να τα θεραπεύουν (Kiparissides & Kammona, 2015). Μεγάλη έμφαση δίνεται στην αποκατάσταση και ανάπλαση ιστών και οργάνων του ανθρώπου αλλά και στην επέμβαση ακόμη και στο DNA, επιδιορθώνοντας πιθανές βλάβες (Hook, 2007 ; Kiparissides & Kammona, 2015). Γίνονται επίσης αναφορές για κατασκευή προϊόντων αίματος, γονιδιακές θεραπείες οι οποίες θα κάνουν δυνατή την επιδιόρθωση κυττάρων, την ανάπλαση ιστών και τη δημιουργία τεχνητού ανοσοποιητικού συστήματος (Nobile & Nobile, 2019).

#### **1.5.6. Άλλες εφαρμογές**

Τα νανοϋλικά παρουσιάζουν ευρεία χρήση στη βιομηχανία στην οποία προσφέρουν πολλές εφαρμογές τους. Όπως προαναφέρθηκε, νανοϋλικά χρησιμοποιούνται ευρέως σε λιπαντικά μειώνοντας την τριβή και τη φθορά σε μηχανές και διαφόρων ειδών συσκευές. Διάφορες επιστρώσεις και επικαλύψεις, οι οποίες ενσωματώνουν νανοδομές, χρησιμοποιούνται στην παραγωγή και επεξεργασία μετάλλων βελτιώνοντας διάφορες ιδιότητές τους (Khan, Saeed, & Khan, 2019). Προσθήκη νανοσωματιδίων για τη κατασκευή ενισχυμένου σκυροδέματος γίνεται και στην κατασκευή κτιρίων.

Επίσης, νανοσωματίδια χρησιμοποιούνται για τη βελτίωση των ιδιοτήτων του γυαλιού κάνοντας την επιφάνειά του υδροφοβική, μιμούμενη το φαινόμενο του λωτού. Με την ενσωμάτωση νανοσωματιδίων στην επιφάνεια του γυαλιού επιτυγχάνεται μεγαλύτερος βαθμός απορρόφησης υπεριώδους ακτινοβολίας και μείωση της



μετάδοσης και της ανάκλασης του φωτός. Νανοτεχνολογία εφαρμόζεται και σε βαφές, οι οποίες μπορούν να έχουν αυτοκαθαριστικές ιδιότητες καθώς και ιδιότητες απώθησης ψευδοχρωμάτων, «αντι-γκραφίτι» (Ramsden, 2014).

Στη βιομηχανία στρατιωτικού και αμυντικού εξοπλισμού κατασκευάζονται νανοτεχνολογικοί ανιχνευτές βιολογικών όπλων, πανοπλίες και «έξυπνες» στρατιωτικές στολές που προσαρμόζονται ανάλογα με τις επικρατούσες συνθήκες και παρέχεται αλεξίσφαιρη θωράκιση σε οχήματα. Νανοϋλικά χρησιμοποιούνται και για την προσαρμοστική κάλυψη οχημάτων και σκαφών με στόχο την αποφυγή εντοπισμού του από ραντάρ (π.χ. stealth), καθώς και στην κατασκευή συσκευών νανοκλίμακας, οι οποίες έχουν ως στόχο την αντιμετώπιση χημικών και βιολογικών επιθέσεων (Sharon, 2019, Χαριτίδης & Βιδάλης, 2010).

Στον τομέα του αθλητισμού η χρήση νανοϋλικών παρέχει στον αθλητικό εξοπλισμό μεγάλες δυνατότητες βελτίωσης, προσφέροντας στους αθλητές άνεση, ευκινησία, ασφάλεια, προστασία και βελτιωμένες επιδόσεις. Νανοϋλικά που χρησιμοποιούνται στον αθλητικό εξοπλισμό βοηθούν στη βελτίωση της αντοχής, της ευκαμψίας ή ακαμψίας και της ελάττωσης του βάρους. Για παράδειγμα, η προσθήκη νανοσωλήνων άνθρακα στις ρακέτες του τένις τους προσδίδει μεγαλύτερη σταθερότητα, ανθεκτικότητα και βοηθά στην απορρόφηση των κραδασμών. Παρόμοιες εφαρμογές παρουσιάζουν και τα μπαστούνια του γκολφ. Νανοϊνες άνθρακα χρησιμοποιούνται στην ποδηλασία για τη μείωση του βάρους των ποδηλάτων καθώς και στο μηχανοκίνητο αθλητισμό τόσο για την παραγωγή ελαφρύτερων οχημάτων όσο και στην κατασκευή ελαστικών, προκαλώντας σημαντική βελτίωση στις επιδόσεις. Η χρήση νανοϋλικών στα καγιάκ τα κάνει πιο ανθεκτικά απέναντι στην τριβή, ενώ στην τοξοβολία προσδίδει μεγαλύτερη σταθερότητα στα τόξα. Στις μπάλες του μπόουλινγκ, με τη χρήση νανοϋλικών αυξάνεται η αντοχή τους και στα μπαλάκια του τένις και του γκολφ βελτιώνεται ο τρόπος αναπήδησής τους (Kumar & Kumbhat, 2016).

Τέλος, αξίζει να γίνει μια σύντομη αναφορά και στον τομέα της αισθητικής και κυρίως στην κατασκευή καλλυντικών προϊόντων. Αντηλιακές λοσιόν, αντιρυτιδικές, ενυδατικές και αντι-κυτταριδικές κρέμες, σαμπουάν, οδοντόκρεμες, αποσμητικά, προϊόντα μακιγιάζ και αρώματα αποτελούν κάποια από τα πολλά παραδείγματα χρήσης νανοϋλικών στα καλλυντικά προϊόντα (Epstein & Kielbassa, 2013; Sharon, 2019).

## **Κεφάλαιο 2. Η Νανοτεχνολογία στην Εκπαίδευση**

### **2.1. Η αξία της Νανοτεχνολογίας στην Εκπαίδευση**

Εξετάζοντας τη βιβλιογραφία, υπάρχουν αρκετές αναφορές οι οποίες αφορούν προσπάθειες ένταξης της Νανοτεχνολογίας στην Εκπαίδευση. Οι περισσότερες προσπάθειες αφορούν την Γ/θμια και Β/θμια Εκπαίδευση, ενώ σχετικά με την Α/θμια Εκπαίδευση η βιβλιογραφία είναι αρκετά περιορισμένη.

Προσπάθειες ενσωμάτωσης της Νανοτεχνολογίας στο Πρόγραμμα Σπουδών των Φυσικών Επιστημών έχουν γίνει, κυρίως, σε χώρες του εξωτερικού, ενώ πανεπιστήμια και σχολεία της Ευρώπης και της Αμερικής έχουν πραγματοποιήσει ήδη, προγράμματα Νανοτεχνολογίας. Η συζήτηση σχετικά με την ένταξη της Νανοτεχνολογίας στο Πρόγραμμα Σπουδών των διαφόρων βαθμίδων εκπαίδευσης αφορά κυρίως τους τομείς τους οποίους πρέπει να περιλαμβάνει. Παρόλα αυτά, η όποια συζήτηση για ενσωμάτωση στα Προγράμματα Σπουδών των διαφόρων βαθμίδων έρχεται αντιμέτωπη με αντικειμενικά εμπόδια όπως ο χρόνος και η υπερφόρτωση των προγραμμάτων σπουδών με γνωστικά αντικείμενα (Ghattas & Carver, 2012).

Εκτός από τα αντικειμενικά εμπόδια, υπάρχουν και προκλήσεις που δυσχεραίνουν τη διαδικασία ενσωμάτωσης της Νανοτεχνολογίας στην εκπαίδευση. Η αναγκαιότητα των εκπαιδευτικών για επανεκπαίδευση πάνω στο το νέο αντικείμενο, η έλλειψη κατάλληλου εκπαιδευτικού υλικού και η σύνδεση της Νανοεπιστήμης με άλλα γνωστικά αντικείμενα, αποτελούν κάποιες από τις κύριες προκλήσεις. Για να είναι, λοιπόν, εφικτή η αυθεντική ένταξη της Νανοτεχνολογίας στο Πρόγραμμα Σπουδών, τόσο οι μαθητές, όσο και οι εκπαιδευτικοί πρέπει να επαναπροσδιορίσουν τον τρόπο αντίληψης του κόσμου γύρω τους, συμπεριλαμβάνοντας σε αυτόν, εκτός από το μακρόκοσμο, τον μικρόκοσμο και τον νανόκοσμο και τις διεργασίες τους (Ghattas & Carver, 2012).

Η ανάπτυξη της Νανοτεχνολογίας δημιουργεί μια σχέση μεταξύ επιστήμης και τεχνολογίας. Η ενσωμάτωσή της στα σχολικά Προγράμματα Σπουδών είναι ύψιστης προτεραιότητας, καθώς περιλαμβάνει διεπιστημονικότητα, εμβαθύνει στη μελέτη του φυσικού κόσμου και είναι ικανή να διαφοροποιήσει τον τρόπο με τον οποίο τον αντιλαμβάνεται ο άνθρωπος. Επίσης, η Νανοεπιστήμη και η Νανοτεχνολογία σχετίζονται με επιστημονικά, τεχνολογικά, οικονομικά και κοινωνικά ζητήματα, δηλαδή με ζητήματα

που αφορούν άμεσα την καθημερινή και κοινωνική ζωή του ανθρώπου (Ghattas & Carver, 2012). Έτσι, η ανάγκη για εκπαίδευση πάνω στους νέους τομείς μοιάζει επιτακτική.

Η εκπαίδευση στις Νανοεπιστήμες θεωρείται πως πρέπει να παρέχεται σε διαφορετικά επίπεδα. Τέτοια επίπεδα είναι το επιστημονικό, το τεχνολογικό και το κοινωνικό επίπεδο. Η ανάγκη για εκπαίδευση στη Νανοτεχνολογία εκφράζεται και από τον ισχυρισμό, πως όλοι οι πολίτες θα χρειαστούν σύντομα εκπαίδευση στις Νανοεπιστήμες για να είναι ικανοί να αντιμετωπίζουν σημαντικά ζητήματα που θα σχετίζονται με την καθημερινή τους ζωή και την κοινωνία (Laherto, 2010). Θεωρείται απαραίτητη, λοιπόν, η εξειδίκευση των ερευνητών και των άλλων επαγγελματιών σε θέματα μικρότερης κλίμακας από τη μακροκλίμακα. Η ανάγκη για εξειδικευμένο και επαρκώς εκπαιδευμένο προσωπικό είναι επιτακτική, καθώς μόνο έτσι μπορεί να αποφευχθεί ο κίνδυνος επιβράδυνσης της ανάπτυξης της επιστημονικής και τεχνολογικής προόδου που παρατηρείται όταν υπάρχει περιορισμένη διαθεσιμότητα των ερευνητών (Jones, Blonder, Gardner, Albe, & Falvo, 2013).

Οι προοπτικές, όμως, της Νανοτεχνολογίας συνεπάγονται τόσο οφέλη όσο και κινδύνους για την κοινωνία, το περιβάλλον και δημόσια υγεία. Το γεγονός αυτό, οδηγεί στο συμπέρασμα πως οι πολίτες πρέπει να είναι ικανοί να αντιμετωπίσουν αυτά τα ζητήματα με υπευθυνότητα. Αυτό μπορεί να επιτευχθεί μόνο μέσα από την εκπαίδευση, η οποία οφείλει να προωθεί την πολύπλευρη εξέταση σύγχρονων σημαντικών θεμάτων τόσο από επιστημονική και τεχνολογική σκοπιά, όσο και κοινωνική. Έτσι, οι μαθητές θα πάρουν τα απαραίτητα εφόδια και θα είναι ικανοί να διαμορφώσουν τη δική τους άποψη πάνω σε καίρια ζητήματα με τα οποία θα έρθουν αντιμέτωποι στο μέλλον (Laherto, 2010).

Έρευνες που έχουν πραγματοποιηθεί σε παγκόσμιο επίπεδο δείχνουν πως η κατανόηση που έχει από το κοινό οποιαδήποτε αναδυόμενη τεχνολογία μπορεί να έχει δραματική επίδραση στην εφαρμογή αυτής της τεχνολογίας. Παρανοήσεις, ακόμη και μια γενική έλλειψη κατανόησης μπορεί να οδηγήσει το κοινό σε αρνητικές αντιδράσεις απέναντι στην αναδυόμενη τεχνολογία. Έτσι, η εκπαίδευση σε νέους τομείς της τεχνολογίας όπως είναι η Νανοτεχνολογία κρίνεται αναγκαία (Spencer, Waldron, & Batt, 2006).

Οι ραγδαίες εξελίξεις στην επιστήμη και τη μηχανική συνοδευόμενες από έλλειψη αντίστοιχου εκπαιδευτικού υλικού οδήγησαν τους εκπαιδευτικούς σε προσπάθειες εξεύρεσης νέων πρακτικών. Ωστόσο, η υπόσχεση της Νανοτεχνολογίας να κάνει τον κόσμο λιγότερο μολυσμένο και πιο αποτελεσματικό, οδηγεί στην αναζήτηση αποτελεσματικών στρατηγικών για την εκπαίδευση της επόμενης γενιάς πολιτών σχετικά με την επιστήμη, τα εργαλεία, τις διαδικασίες και κοινωνικοεπιστημονικά ζητήματα που ορίζουν αυτό το νέο επιστημονικό πεδίο (Jones, Blonder, Gardner, Albe, & Falvo, 2013).

Όπως είναι φυσικό, λοιπόν, η Νανοτεχνολογία δεν είναι λογικό να διδαχτεί με τον ίδιο τρόπο και στις τρεις βαθμίδες της εκπαίδευσης, ούτε όλες οι ιδέες της είναι δυνατόν να ενσωματωθούν στα Προγράμματα Σπουδών και των τριών βαθμίδων και να γίνουν κατανοητές από τους μαθητές. Παρόλα αυτά, οι έρευνες δείχνουν ότι υπάρχουν έννοιες που είναι κοινές και στις τρεις βαθμίδες εκπαίδευσης. Αυτό που είναι βέβαιο, είναι πως και στις τρεις εκπαιδευτικές βαθμίδες κρίνεται κατάλληλη η αναφορά και η ενασχόληση των μαθητών με εφαρμογές της Νανοτεχνολογίας στη φύση, στην υγεία, στο περιβάλλον και στην καθημερινή ζωή.

## **2.2. Η Νανοτεχνολογία στην Τριτοβάθμια Εκπαίδευση**

Η Νανοτεχνολογία, τα τελευταία χρόνια έχει εισχωρήσει στην Γ/θμια Εκπαίδευση, καθώς θεωρείται άμεση η ανάγκη για εκπαίδευση του μελλοντικού εργατικού δυναμικού πάνω στο νέο αναδυόμενο επιστημονικό πεδίο. Μεγάλα ερευνητικά κέντρα και πανεπιστήμια εισήγαγαν μαθήματα Νανοτεχνολογίας στα Προγράμματα Σπουδών τους και ασχολήθηκαν με την έρευνα πάνω σε αυτό το πεδίο (Meeyarpan, 2004). Πλέον, πολλά πανεπιστήμια της Ευρώπης, της Αμερικής αλλά και άλλων χωρών του κόσμου παρέχουν τη δυνατότητα σπουδών πάνω στη Νανοτεχνολογία, αλλά και εξειδίκευσης σε συγκεκριμένους τομείς της.

Το περιεχόμενο της Νανοτεχνολογίας στην Γ/θμια Εκπαίδευση περιλαμβάνει εννέα βασικές έννοιες, οι οποίες αναφέρονται ως οι εννέα «Μεγάλες Ιδέες» (MI) της Νανοτεχνολογίας (Stevens, Sutherland, & Krajcik, 2009; Wanson, et al., 2009):

- **Μέγεθος και Κλίμακα:** Η περιγραφή της ύλης και της συμπεριφοράς της καθορίζεται από παράγοντες που έχουν σχέση με το μέγεθος και την κλίμακα.

- **Αναλογία επιφάνειας/όγκου:** Τα υλικά στη νανοκλίμακα παρουσιάζουν μεγαλύτερη επιφάνεια επαφής σε σχέση με τα υλικά όγκου. Στο γεγονός αυτό οφείλονται και οι διαφορετικές τους ιδιότητες.
- **Συμπεριφορά που κυριαρχείται από την επιφάνεια:** Ο αντίκτυπος που έχουν οι δυνάμεις στις αλληλεπιδράσεις αλλάζει από κλίμακα σε κλίμακα.
- **Αυτοοργάνωση:** Όταν επικρατούν συγκεκριμένες συνθήκες, κάποια υλικά μπορούν να συγκροτηθούν αυθόρμητα σε οργανωμένες δομές, κάτι που είναι πολύ χρήσιμο για το χειρισμό τους στη νανοκλίμακα. Η αυτοοργάνωση κυριαρχεί στη φύση όπως για παράδειγμα στην οργάνωση βιολογικών ιστών.
- **Κβαντική μηχανική:** Για να γίνει δυνατή η εξήγηση της συμπεριφοράς των αντικειμένων στη νανοκλίμακα είναι απαραίτητη η Κβαντική Φυσική, καθώς δεν αρκεί η Κλασσική Φυσική.
- **Ιδιότητες που εξαρτώνται από το μέγεθος:** Όταν το μέγεθος ενός υλικού πλησιάζει στη νανοκλίμακα, συχνά, εμφανίζει απροσδόκητες ιδιότητες και επαυξημένη λειτουργικότητα.
- **Εργαλεία και όργανα/χαρακτηρισμός:** Η επιστημονική πρόοδος προωθείται με την ανάπτυξη νέων εργαλείων και οργάνων τα οποία δίνουν τη δυνατότητα για διερεύνηση της νανοκλίμακας με μεγάλη ακρίβεια. Οι φοιτητές πρέπει να είναι ευέλικτοι με τέτοια όργανα αν θέλουν να έχουν μια επιτυχημένη σταδιοδρομία στον τομέα της Νανοτεχνολογίας.
- **Μοντέλα και προσομοιώσεις.** Καθώς τα φαινόμενα στη νανοκλίμακα δεν είναι δυνατόν να γίνουν αντιληπτά εύκολα από τους φοιτητές λόγω του πολύ μικρού μεγέθους, η χρήση και ανάπτυξη μοντέλων και προσομοιώσεων είναι απαραίτητη για να καταστεί δυνατή η κατανόησή τους. Τα μοντέλα και οι προσομοιώσεις είναι, επίσης, απαραίτητα για το μηχανολογικό σχεδιασμό και την κατασκευή νανοδομημένων υλικών και συσκευών.
- **Κοινωνικές επιπτώσεις:** Η Νανοτεχνολογία μπορεί να επηρεάσει τη ζωή του ανθρώπου είτε θετικά είτε αρνητικά. Οι φοιτητές, ως μελλοντικοί πολίτες οφείλουν να είναι ενημερωμένοι για τα οφέλη και τους πιθανούς κινδύνους για την κοινωνία και το περιβάλλον.

Οι «Μεγάλες Ιδέες» της Νανοτεχνολογίας αποτελούν τις βασικές έννοιες και βοηθούν στη διαμόρφωση του επιστημονικού πεδίου, στην εξήγηση φαινομένων και συμβάλλουν στην ευρύτερη εννοιολογική κατανόηση συνδέοντάς το με προηγούμενες ιδέες και καθιερώνοντας νέα θεμέλια που θα οδηγήσουν στη μελλοντική κατανόηση της επιστήμης (Stevens, Sutherland, & Krajcik, 2009).

### **2.3. Η Νανοτεχνολογία στην Δευτεροβάθμια Εκπαίδευση**

Αρκετές μελέτες έχουν αναφερθεί στη σημασία της ενσωμάτωσης νέων εκπαιδευτικών αντικειμένων, όπως η Νανοτεχνολογία, στο Πρόγραμμα Σπουδών των Φυσικών Επιστημών του Γυμνασίου και του Λυκείου. Από τις περισσότερες έρευνες εξάγεται το συμπέρασμα πως οι μαθητές που εκτίθενται στη Νανοτεχνολογία αποκτούν μεγαλύτερο κίνητρο ενασχόλησης με τις Φυσικές Επιστήμες, καθώς αναγνωρίζουν την άμεση επίδραση που μπορεί να έχει στη μελλοντική τους ζωή, ενώ ταυτόχρονα το περιεχόμενό της τους φαίνεται σύγχρονο και ελκυστικό. Παρακάτω θα αναφερθούμε σε τέτοιες μελέτες και προσπάθειες ένταξης της Νανοτεχνολογίας στη Β/θμια Εκπαίδευση, οι οποίες έχουν πραγματοποιηθεί σε διάφορες χώρες του κόσμου, παραθέτοντας μεθόδους ένταξης της Νανοτεχνολογίας στο Πρόγραμμα Σπουδών και καταδεικνύοντας τη σύνδεση που μπορεί να παρουσιάζουν με την αύξηση του ενδιαφέροντος των μαθητών και τη δημιουργία κινήτρων για περαιτέρω ενασχόληση με τις Φυσικές Επιστήμες.

Οι Blonder & Dinur (2011) μελετώντας ένα πρόγραμμα Νανοτεχνολογίας για μαθητές Γυμνασίου διαπίστωσαν πως οι μαθητές αντιλαμβάνονται τη Χημεία ως σύγχρονη επιστήμη και πως υπήρχε σημαντική αύξηση του ποσοστού των μαθητών, οι οποίοι παρακολούθησαν το πρόγραμμα και επέλεξαν να ασχοληθούν με αυτό το επιστημονικό πεδίο στο μέλλον. Οι Blonder & Sakhnini (2012) σε ένα διαφορετικό πρόγραμμα, που ανέπτυξαν για μαθητές Β/θμιας Εκπαίδευσης, στο οποίο επικεντρώθηκαν σε δύο βασικές έννοιες της Νανοτεχνολογίας, το μέγεθος και την κλίμακα και τον λόγο επιφάνειας προς τον όγκο, εφαρμόζοντας διάφορες εκπαιδευτικές μεθόδους (χρήση πολυμέσων, μοντέλων, διαδραστικά παιχνίδια, αφήγηση ιστοριών), διαπίστωσαν ότι ενισχύθηκε η κατανόηση των διδαχθέντων εννοιών από τους μαθητές και υπήρξε θετική επίδραση στο κίνητρο των μαθητών να επιλέξουν προχωρημένα μαθήματα Φυσικών Επιστημών.

Οι Jones, Falvo, Taylor, & Broadwell (2007) πραγματοποίησαν έρευνες έχοντας ως στόχο να σχεδιάσουν ένα πρόγραμμα διδασκαλίας των ιδιοτήτων και συμπεριφορών που παρουσιάζουν τα υλικά στη νανοκλίμακα, κατάλληλο για μαθητές Β/θμιας Εκπαίδευσης. Στη συνέχεια, εισήγαγαν τις βασικές έννοιες που πρέπει να κατακτήσουν οι μαθητές για να κατανοήσουν την επιστήμη της νανοκλίμακας. Παρουσίασαν, επίσης, κάποιες δραστηριότητες, οι οποίες μπορούν να αυξήσουν την επιθυμία των μαθητών να μάθουν περισσότερα. Όλα αυτά τα οργάνωσαν γύρω από πέντε θέματα: την κλίμακα, τα εργαλεία και τις τεχνικές, τις ιδιότητες και τις συμπεριφορές που παρουσιάζουν τα υλικά στη νανοκλίμακα, τις νανοτεχνολογικές εφαρμογές και τις κοινωνικές επιπτώσεις τους.

Οι Blonder & Sakhnini (2015) προσδιόρισαν τις βασικές έννοιες της Νανοτεχνολογίας, οι οποίες είναι κατάλληλες να διδαχθούν σε επίπεδο Β/θμιας Εκπαίδευσης. Παρόλα αυτά, η ενσωμάτωση αυτών των εννοιών στο Πρόγραμμα Σπουδών δεν αποτελεί εύκολη διαδικασία καθώς έχει να αντιμετωπίσει βασικά προβλήματα. Όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως, βασικό πρόβλημα αποτελούν το υπερφορτωμένο με έννοιες Πρόγραμμα Σπουδών, το οποίο δεν αφήνει πολλά περιθώρια ένταξης νέων εννοιών, καθώς και η αποστασιοποίησή του από την καθημερινή ζωή του ανθρώπου. Οι μαθητές αντιλαμβάνονται το περιεχόμενο των Φυσικών Επιστημών ως ξένο και άσχετο με την καθημερινότητά τους, γεγονός που οδηγεί σε έλλειψη ενδιαφέροντος απέναντι στις Φυσικές Επιστήμες. Αυτές τις δυσκολίες προσπάθησαν να τις ξεπεράσουν παρουσιάζοντας μια προσπάθεια ένταξης κάποιων από τις έννοιες της Νανοτεχνολογίας στο Πρόγραμμα Σπουδών των Φυσικών Επιστημών της Β/θμιας Εκπαίδευσης. Η συγκεκριμένη έρευνα αφορά την εισαγωγή εννοιών Νανοτεχνολογίας στο Πρόγραμμα Σπουδών του μαθήματος της Χημείας στο Γυμνάσιο. Η μελέτη διεξήχθη στο Ισραήλ και χρησιμοποίησε το Πρόγραμμα Σπουδών Χημείας του Ισραήλ ως αντιπροσωπευτικό παράδειγμα Προγράμματος Σπουδών του μαθήματος. Το βασικό ερώτημα της έρευνας ήταν: «Ποια είναι τα σημεία του Αναλυτικού Προγράμματος στα οποία θα μπορούσαν να εισαχθούν βασικές έννοιες της Νανοτεχνολογίας στο υπάρχον Πρόγραμμα Σπουδών Χημείας του Γυμνασίου στο Ισραήλ;»

Η έρευνα βασίστηκε σε έμπειρους εκπαιδευτικούς Β/θμιας Εκπαίδευσης, οι οποίοι έπρεπε να κατανοήσουν βαθιά οχτώ έννοιες της Νανοτεχνολογίας: α) ιδιότητες που εξαρτώνται από το μέγεθος, β) καινοτομίες και εφαρμογές Νανοτεχνολογίας, γ) μέγεθος και κλίμακα, δ) μέθοδοι χαρακτηρισμού, ε) λειτουργικότητα, στ) ταξινόμηση

νανοϋλικών, ζ) προσεγγίσεις κατασκευής νανοϋλικών και η) δημιουργία εφαρμογών Νανοτεχνολογίας. Σκοπός ήταν να προσδιοριστούν τα σημεία εισαγωγής των εννοιών αυτών στο Πρόγραμμα Σπουδών και να δοθεί μια έγκυρη απάντηση στο ερευνητικό ερώτημα. Οι εκπαιδευτικοί που συμμετείχαν στην έρευνα, αρχικά, εκπαιδεύτηκαν πάνω στις βασικές έννοιες της Νανοτεχνολογίας. Στη συνέχεια, κάθε συμμετέχων κλήθηκε να εντοπίσει σημεία εισαγωγής των βασικών εννοιών στο Αναλυτικό Πρόγραμμα Χημείας του Ισραήλ και να προσδιορίσει τους λόγους για τους οποίους θεωρεί πως η συγκεκριμένη ιδέα πρέπει να ενσωματωθεί στο προτεινόμενο σημείο εισαγωγής. Αυτό ήταν το στάδιο της αναγνώρισης, το οποίο ακολουθήθηκε από το στάδιο της επικύρωσης, ένα χρόνο αργότερα, έτσι ώστε να καταλήξουν στα τελικά αποτελέσματα. Το αποτέλεσμα ήταν να καθοριστούν τα διάφορα σημεία του Προγράμματος Σπουδών της Χημείας, όπου θα μπορούσαν να εισαχθούν οι οχτώ έννοιες της Νανοτεχνολογίας. Τα σημεία εισαγωγής των εννοιών, που προτάθηκαν, περιγράφονται αναλυτικά στα αποτελέσματα της έρευνας.

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα, όλες οι βασικές έννοιες της Νανοτεχνολογίας ενσωματώθηκαν στα διάφορα θέματα του Προγράμματος Σπουδών Χημείας σε 74 διαφορετικά σημεία εισαγωγής. Σε τρία από τα υποχρεωτικά θέματα της Χημείας (βασικές έννοιες, ατομική δομή, δομή και σύνδεση), οι εκπαιδευτικοί ενσωμάτωσαν όλες τις έννοιες. Στα υπόλοιπα θέματα οι εκπαιδευτικοί βρήκαν τουλάχιστον δύο βασικές έννοιες οι οποίες μπορούσαν να ενσωματωθούν. Τα αποτελέσματα της συγκεκριμένης μελέτης, αν και αφορούν το Πρόγραμμα Σπουδών του Ισραήλ, μπορούν να εφαρμοστούν και σε Προγράμματα Σπουδών Φυσικών Επιστημών και άλλων χωρών, καθώς οι βασικές έννοιες που περιλαμβάνονται στα αναλυτικά προγράμματα παγκοσμίως είναι κοινές. Επομένως, η συγκεκριμένη χαρτογράφηση αποτελεί χρήσιμο εργαλείο για εκπαιδευτικούς που επιθυμούν να ενσωματώσουν έννοιες της Νανοτεχνολογίας στο μάθημα των Φυσικών Επιστημών (Blonder & Sakhnini, 2017).

Το 2011 στην Ταϊβάν πραγματοποιήθηκε μια παρόμοια με την προηγούμενη έρευνα, η οποία όμως περιλάμβανε και πρόταση εισαγωγής της Νανοτεχνολογίας στη Β/θμια Εκπαίδευση. Στη συγκεκριμένη έρευνα, οι ερευνητές αφού συνεργάστηκαν με καθηγητές σχεδίασαν ένα πρόγραμμα Νανοτεχνολογίας για το Λύκειο με στόχο να εφαρμοστεί σε 503 μαθητές. Το Πρόγραμμα Σπουδών Φυσικών Επιστημών του Λυκείου στην Ταϊβάν παρουσιάζει μόνο λίγες βασικές πληροφορίες σχετικά με τη



Νανοτεχνολογία, οι οποίες δεν μπορούν να συνδεθούν με το αρχικό διδακτικό υλικό, οπότε κρίθηκε χρήσιμη η εφαρμογή ενός νέου προγράμματος. Στόχος των ερευνητών ήταν η δημιουργία ενός προγράμματος Νανοτεχνολογίας, το οποίο θα εκπαιδεύσει τον πληθυσμό και θα δημιουργήσει εξειδικευμένο εργατικό δυναμικό το οποίο θα καλύψει τις ανάγκες της χώρας (Lu & Sung, 2011). Τα συμπεράσματα που εξήχθησαν από τη συγκεκριμένη έρευνα ήταν πως η εκπαίδευση σε προϊόντα Νανοτεχνολογίας αυξάνει το ενδιαφέρον και την επιθυμία μάθησης των μαθητών πάνω στο συγκεκριμένο πεδίο. Επίσης, η επέκταση του Προγράμματος Σπουδών, ενσωματώνοντας σε αυτό νέες επιστημονικές ιδέες, μπορεί να αναθεωρήσει τις παλιές εμπειρίες των μαθητών και να αποτελέσει τη βάση για περαιτέρω εκπαίδευση πάνω στη Νανοτεχνολογία και τις εφαρμογές της. Τέλος, γνωρίζοντας τη σημασία της εκπαίδευσης των μαθητών πάνω στη Νανοτεχνολογία, η ένταξή της στο επίσημο Πρόγραμμα Σπουδών κρίθηκε αναγκαία, καθώς έτσι μπορεί να ενεργοποιηθεί το ενδιαφέρον των μαθητών, να αποκτήσουν πιο ολοκληρωμένη γνώση πάνω στις έννοιές της και να μπορέσουν τελικά, να επιτευχθούν οι στόχοι της εκπαίδευσης πάνω στον τομέα της Νανοτεχνολογίας (Lu & Sung, 2011).

Αντίστοιχες μελέτες που έχουν πραγματοποιηθεί στη χώρα μας αποτελούν τη βάση για όλους όσους θέλουν να πραγματοποιήσουν έρευνες σχετικά με την ένταξη της Νανοτεχνολογίας στην Εκπαίδευση. Οι Stavrou, Michailidi, Sgouros & Dimitriadi (2015) ανέπτυξαν και αξιολόγησαν μια Διδακτική Μαθησιακή Ακολουθία (DMA) για μαθητές μικρών τάξεων Β/θμιας Εκπαίδευσης. Στόχος της συγκεκριμένης ερευνητικής προσπάθειας ήταν να καταγραφούν οι δυνατότητες των μαθητών και οι πιθανές δυσκολίες που αντιμετωπίζουν κατά την εκμάθηση θεμάτων Νανοτεχνολογίας σε πραγματικές συνθήκες μέσα στην τάξη. Μελετώντας τα αποτελέσματα της έρευνας, παρατήρησαν ότι οι μαθητές αναφορικά με την έννοια «μέγεθος και κλίμακα» αντιμετώπισαν δυσκολίες στο να συνειδητοποιήσουν το απόλυτο και σχετικό μέγεθος των αόρατων αντικειμένων. Παρατήρησαν, επίσης, ότι οι μαθητές δεν γνώριζαν πως οι ιδιότητες ενός υλικού εξαρτώνται από το μέγεθός του, καθώς φάνηκε να θεωρούν ότι τα αντικείμενα έχουν σταθερές ιδιότητες. Σταδιακά, όμως, δέχτηκαν ότι είναι δυνατή η αλλαγή ιδιοτήτων λόγω του μεγέθους των αντικειμένων. Ακόμη, οι μαθητές συνειδητοποίησαν ότι για την εξέταση αντικειμένων νανοκλίμακας δεν αρκεί το οπτικό μικροσκόπιο, καθώς απαιτούνται ειδικά εργαλεία τα οποία λειτουργούν χρησιμοποιώντας διαφορετικό τύπο αλληλεπίδρασης. Τα αποτελέσματα της

συγκεκριμένης έρευνας είναι ενθαρρυντικά αναφορικά με τη διδασκαλία βασικών χαρακτηριστικών της Νανοεπιστήμης και της Νανοτεχνολογίας στη Β/θμια Εκπαίδευση. Σε γενικές γραμμές, διαπιστώθηκε ότι το θέμα της Νανοτεχνολογίας παρουσίασε ιδιαίτερο ενδιαφέρον για τους μαθητές. Βασικό συμπέρασμα ήταν πως οι μαθητές Γυμνασίου είναι σε θέση να αποκτήσουν γνώσεις σχετικά, τόσο με τη συμβολή της Νανοεπιστήμης στη βελτίωση του τρόπου διαβίωσης του ανθρώπου, όσο και με πιθανούς κινδύνους που μπορεί να κρύβει. Σημαντική ήταν και η αύξηση της ευαισθητοποίησης των μαθητών απέναντι σε κοινωνικά και ηθικά ζητήματα.

Την ίδια χρονιά, στην περιοχή της Θεσσαλονίκης και της Κοζάνης, πραγματοποιήθηκε έρευνα, η οποία είχε ως στόχο να αξιολογήσει τις γνώσεις μαθητών και καθηγητών Β/θμιας εκπαίδευσης πάνω σε θέματα Νανοτεχνολογίας και να καταγράψει τις απόψεις τους, αναφορικά με τον τρόπο με τον οποίο θα μπορούσαν να ενταχθούν τέτοια θέματα στο σχολικό πρόγραμμα. Όσον αφορά τους μαθητές, τα αποτελέσματα έδειξαν πως οι περισσότεροι, αν και έδειχναν να μην κατανοούν τις βασικές έννοιες της Νανοτεχνολογίας, παρουσίασαν ιδιαίτερο ενδιαφέρον για πιθανή ένταξη της στο πρόγραμμα, ειδικά αν αυτή πραγματοποιηθεί μέσω πειραμάτων ή με τη χρήση Νέων Τεχνολογιών. Όσον αφορά τους καθηγητές, ιδιαίτερα οι καθηγητές Φυσικών Επιστημών, φάνηκαν να κατέχουν βασικές έννοιες της Νανοτεχνολογίας, ενώ ανεξαρτήτως ειδικότητας, θεώρησαν πως θα ήταν χρήσιμη η ένταξη της Νανοτεχνολογίας στο Αναλυτικό Πρόγραμμα και πως θα ήταν διατεθειμένοι να επιμορφωθούν πάνω στο νέο επιστημονικό πεδίο (Βασιλοπούλου, 2016).

Οι Τσερτσερή, Σάλτα και Σταύρου (2017) πραγματοποίησαν μια εργασία στα πλαίσια της οποίας μελέτησαν το κατά πόσο μπορεί και με ποιον τρόπο να ενταχθεί στο Γυμνάσιο η ιδέα της αλλαγής των ιδιοτήτων που παρουσιάζουν τα υλικά όταν βρίσκονται στη νανοκλίμακα. Βασικά ζητούμενα της έρευνας ήταν η εφαρμογή δραστηριοτήτων επικεντρωμένων στην αλλαγή των ιδιοτήτων των υλικών στη νανοκλίμακα, η διερεύνηση των αντιλήψεων των μαθητών Γυμνασίου σχετικά με αυτές τις αλλαγές και ο εντοπισμός των δυσκολιών που αντιμετωπίζουν οι μαθητές στην κατανόηση τέτοιων φαινομένων. Δείγμα της έρευνας αποτέλεσαν 16 μαθητές της Β' και Γ' Γυμνασίου και ως ερευνητικά εργαλεία χρησιμοποιήθηκαν η συνέντευξη και η παρατήρηση κατά τη διάρκεια των δραστηριοτήτων. Το συμπέρασμα που εξήχθη από την ανάλυση των αποτελεσμάτων ήταν πως οι μαθητές Γυμνασίου είναι σε θέση να κατανοήσουν την αλλαγή των

ιδιοτήτων των υλικών σε επίπεδο νανοκλίμακας καθώς και να τις περιγράψουν και να τις εξηγήσουν. Επομένως, κρίθηκε δυνατή η ένταξη της έννοιας «εξάρτηση των ιδιοτήτων από το μέγεθος» στο Πρόγραμμα Σπουδών του Γυμνασίου.

Σε μια πιο πρόσφατη έρευνα (Κεφαλληνού, 2019) στην οποία έλαβαν μέρος 263 μαθητές και 53 καθηγητές (μαθηματικοί, φυσικοί, χημικοί) Β/θμιας Εκπαίδευσης από τέσσερα διαφορετικά σχολεία της περιοχής των Αθηνών, εξετάστηκε η αξία της ένταξης της Νανοτεχνολογίας στη Β/θμια Εκπαίδευση σε σχέση με τις πρότερες γνώσεις εκπαιδευτικών και μαθητών, καθώς και οι πιθανοί τρόποι ενσωμάτωσής της στο Πρόγραμμα Σπουδών. Τα αποτελέσματα έδειξαν πως οι καθηγητές κατείχαν τις βασικές έννοιες της Νανοτεχνολογίας και ήταν αρκετά εξοικειωμένοι με τη νανοκλίμακα, ενώ οι μαθητές, από την άλλη, παρόλο που φάνηκε να μην κατέχουν τις βασικές ιδέες και εφαρμογές της Νανοτεχνολογίας, εκδήλωσαν μεγάλο ενδιαφέρον για αυτήν και δήλωσαν πως θα επιθυμούσαν την ένταξή της στο σχολικό πρόγραμμα. Τελικό συμπέρασμα της έρευνας ήταν πως είναι σημαντική η ένταξη της Νανοτεχνολογίας στο Πρόγραμμα Σπουδών της Β/θμιας Εκπαίδευσης, καθώς αποτελεί έναν νέο τομέα που ελκύει το ενδιαφέρον των μαθητών και προετοιμάζει μελλοντικούς επιστήμονες.

Τα στοιχεία σε αυτές τις μελέτες αποδεικνύουν ότι σε επίπεδο Β/θμιας Εκπαίδευσης, οι μαθητές και οι εκπαιδευτικοί μπορούν να αυξήσουν την κατανόησή των θεμελιωδών εννοιών και πρακτικών της Νανοτεχνολογίας εφαρμόζοντας τις κατάλληλες εκπαιδευτικές παρεμβάσεις (Bryan, Magana, & Sederberg, 2015). Διαφαίνεται, επίσης, πως η ένταξη της Νανοτεχνολογίας στο Πρόγραμμα Σπουδών της Β/θμιας Εκπαίδευσης κρίνεται απαραίτητη καθώς ακολουθεί τις ανάγκες της εποχής. Η Νανοτεχνολογία, ως επιστήμη του μέλλοντος, ελκύει τους μαθητές και προκαλεί αύξηση του ενδιαφέροντός τους απέναντι στις Φυσικές Επιστήμες δίνοντάς τους τη δυνατότητα, μέσα στο σχολικό πλαίσιο, να προετοιμαστούν όχι μόνο για μελλοντικοί επιστήμονες, αλλά και για ενημερωμένοι πολίτες.

#### **2.4. Η Νανοτεχνολογία στην Πρωτοβάθμια Εκπαίδευση**

Τα τελευταία χρόνια έχουν παρουσιαστεί κάποιες προσπάθειες ένταξης της Νανοτεχνολογίας στην Α/θμια Εκπαίδευση. Σύμφωνα με τη βιβλιογραφία, οι περισσότερες προσπάθειες που έχουν πραγματοποιηθεί αφορούν μη-Τυπικά ή Άτυπα περιβάλλοντα εκπαίδευσης και αποτελούν πρωτοβουλίες ιδιωτικών ή κρατικών

επιστημονικών φορέων. Αντίστοιχες προσπάθειες που αφορούν περιβάλλοντα Τυπικής εκπαίδευσης, τόσο στην Ελλάδα αλλά και στον υπόλοιπο κόσμο, είναι αρκετά περιορισμένες και βρίσκονται σε πρώιμο στάδιο ακόμα.

#### **2.4.1. Ιδέες και γνώσεις μαθητών Δημοτικού για τη Νανοτεχνολογία**

Αρχικά, αξίζει να γίνει αναφορά σε έρευνες που έχουν πραγματοποιηθεί τόσο σε χώρες του εξωτερικού όσο και στην Ελλάδα, οι οποίες έχουν ως στόχο να καταγράψουν ιδέες και γνώσεις των μαθητών σχετικά με τη Νανοτεχνολογία και οι οποίες αποτελούν τη βάση για τη διεξαγωγή περισσότερων ερευνών.

Οι Tretter, Jones, Andre, Negishi, & Minogue (2006) πραγματοποίησαν έρευνα με στόχο να μελετήσουν τις ιδέες μαθητών διαφόρων βαθμίδων εκπαίδευσης σχετικά με το μέγεθος και την κλίμακα. Στη συγκεκριμένη έρευνα συμμετείχαν και 37 μαθητές της Ε΄ τάξης ενός Δημοτικού σχολείου της Βόρειας Καρολίνα των ΗΠΑ. Στους συμμετέχοντες δόθηκε ερωτηματολόγιο και τους ζητήθηκε να ταξινομήσουν διάφορα αντικείμενα υποδεικνύοντας την κλίμακα μεγέθους. Τα αποτελέσματα έδειξαν πως οι μικροί μαθητές δυσκολεύονται αρκετά στον ακριβή προσδιορισμό της κλίμακας μεγέθους των αντικειμένων, ενώ ανταποκρίνονται καλύτερα όταν τους ζητείται να συγκρίνουν ή να ταξινομήσουν αντικείμενα με βάση το μέγεθός τους. Οι αντιλήψεις της σχετικής κλίμακας, δηλαδή, ήταν πιο ακριβείς από εκείνες της απόλυτης κλίμακας. Το γεγονός αυτό παρατηρείται περισσότερο στους μικρότερους μαθητές συγκριτικά με συμμετέχοντες μεγαλύτερων τάξεων, γεγονός που καταδεικνύει την ανάγκη για τροποποίηση και αναδόμηση των ιδεών των μικρών μαθητών σχετικά με τη νανοκλίμακα.

Οι Castellini, et al. (2007) διεξήγαγαν μια έρευνα σχετικά με την κατανόηση της Νανοτεχνολογίας και συναφών επιστημονικών εννοιών από την κοινή γνώμη. Ο στόχος αυτής της μελέτης ήταν να καθορίσει τη βασική γνώση του κοινού για τη Νανοτεχνολογία. Για τη διεξαγωγή της έρευνας χρησιμοποιήθηκε ένα ερωτηματολόγιο επτά ερωτήσεων. Οι ερωτήσεις αφορούσαν τις ιδέες του κοινού σχετικά με την κλίμακα μεγέθους, τη Νανοτεχνολογία, καθώς και τη στάση τους απέναντι στον νέο επιστημονικό τομέα. Τον πληθυσμό της έρευνας αποτέλεσαν 495 άτομα, ηλικίας από 7 έως 91 ετών. Από τα 495 άτομα, τα 65, περίπου, ήταν μαθητές Δημοτικού. Σχετικά με τη γνώση της νανομετρικής κλίμακας μεγέθους ζητήθηκε να αναφέρουν το μικρότερο αντικείμενο που

τους έρχεται στο μυαλό. Στη συγκεκριμένη ερώτηση, το 54% των μαθητών Β΄ έως Δ΄ τάξης ανέφεραν μυρμήγκια, έντομα και αντικείμενα που υπάρχουν στον μικρόκοσμο. Αρκετά παιδιά Στ΄ τάξης και μεγαλύτερων τάξεων, ανέφεραν άτομα και κύτταρα στις απαντήσεις τους. Στη συνέχεια, οι συμμετέχοντες κλήθηκαν να ταξινομήσουν με βάση το μέγεθος, κύτταρα, βακτήρια, άτομα και μόρια νερού. Στη συγκεκριμένη ερώτηση, οι μαθητές, δυσκολεύτηκαν και έκαναν αρκετά λάθη, ενώ όταν τους ζητήθηκε να ταξινομήσουν αντικείμενα του μικρόκοσμου, ανταποκρίθηκαν περισσότερο, γεγονός που καταδεικνύει ελλειπείς γνώσεις σχετικά με τον νανόκοσμο. Τέλος, αναφορικά με τον ορισμό της Νανοτεχνολογίας, ελάχιστοι φάνηκε να γνωρίζουν τον ζητούμενο όρο και ακόμη λιγότεροι ήταν ικανοί να διατυπώσουν έναν ορισμό.

Μια ακόμα έρευνα (Waldron, Spencer, & Batt, 2006) που πραγματοποιήθηκε σε πληθυσμό 1500 ατόμων, ηλικίας από 6 έως 74 ετών, αποκάλυψε έλλειψη γνώσης σχετικά με τη Νανοτεχνολογία και ιδιαίτερα έλλειψη κατανόησης του νανόκοσμου. Η μελέτη πραγματοποιήθηκε με σκοπό να εξετάσει τις αντιλήψεις του κοινού για την Νανοτεχνολογία, έτσι ώστε να θέσει τις βάσεις για τη δημιουργία μιας, μουσειακού τύπου, έκθεσης η οποία θα βοηθήσει παιδιά ηλικίας 8-13 να μάθουν για την Νανοτεχνολογία. Η έρευνα πραγματοποιήθηκε σε μια περίοδο τεσσάρων μηνών, όπου εξετάστηκε η επίγνωση και η κατανόηση της Νανοτεχνολογίας από έναν πληθυσμό 1500 ατόμων. Ερευνητικό εργαλείο αποτέλεσε ένα ερωτηματολόγιο με ερωτήσεις σχετικές με την αντίληψη του κόσμου που δεν είναι ορατός με γυμνό μάτι, τη γνώση των όρων «νάνο» και «Νανοτεχνολογία» και την ικανότητα ταξινόμησης μεγεθών και τοποθέτησής τους σε σειρά με βάση το μέγεθος. Οι ερευνητές επέλεξαν ένα στρωματοποιημένο τυχαίο δείγμα 1500 ατόμων στις Ηνωμένες Πολιτείες της Αμερικής. Το δείγμα περιλάμβανε τέσσερις ηλικιακές ομάδες παιδιών και πέντε ηλικιακές ομάδες ενηλίκων. Επειδή το κοινό στο οποίο απευθυνόταν η έκθεση ήταν παιδιά ηλικίας 8-13 ετών, το μεγαλύτερο ποσοστό του δείγματος ήταν κάτω των 14 ετών. Για να επικυρωθούν τα αποτελέσματα της έρευνας, χρησιμοποιήθηκαν και 100 παιδιά ως ομάδα ελέγχου. Τα αποτελέσματα έδειξαν πως τα περισσότερα παιδιά έως 11 ετών ανέφεραν αντικείμενα του μακρόκοσμου ως το μικρότερο αντικείμενο (π.χ. ένα μυρμήγκι, ένας κόκκος άμμου), ενώ παιδιά από την ηλικία των περίπου 11 ετών άρχιζαν να αναφέρουν μικροσκοπικά και νανοσκοπικά αντικείμενα. Όσον αφορά την τοποθέτηση αντικειμένων σε σειρά με βάση το μέγεθος, μέχρι την ηλικία των 11 ετών, τα παιδιά είχαν αρκετές δυσκολίες, ενώ

από 11 ετών και πάνω είχαν μεγαλύτερα ποσοστά επιτυχίας. Βασικό συμπέρασμα που εξήχθη ήταν ότι το ευρύ κοινό, ειδικά τα παιδιά, δεν έχει σταθερή βάση για να κατανοήσει τη Νανοτεχνολογία. Έτσι, κρίνεται αναγκαία, από μικρή ηλικία, η εκπαίδευση και η ενίσχυση της κατανόησης του κοινού σε θέματα Νανοτεχνολογίας, καθώς χωρίς την κατανόηση τέτοιων εννοιών, το κοινό δεν θα είναι προετοιμασμένο να διαχειριστεί μελλοντικές καταστάσεις και προκλήσεις οι οποίες προκύπτουν από την αναδυόμενη τεχνολογία.

Όσον αφορά την Α/θμια Εκπαίδευση στην Ελλάδα, τα τελευταία χρόνια, έχουν πραγματοποιηθεί κάποιες έρευνες σχετικές με τις ιδέες και τις γνώσεις των μικρών μαθητών απέναντι στη Νανοτεχνολογία. Οι Πέικος, Παπαδοπούλου, & Μάνου (2016) παρουσίασαν μία έρευνα σχετικά με τις ιδέες μαθητών Α/θμιας Εκπαίδευσης σχετικά με τη Νανοτεχνολογία. Η έρευνα διεξήχθη σε τρία Δημοτικά σχολεία της Δυτικής Μακεδονίας και το δείγμα αποτελούνταν από 54 μαθητές της Ε΄ και Στ΄ τάξης. Ως ερευνητικό εργαλείο χρησιμοποιήθηκε ένα ερωτηματολόγιο, στο οποίο ζητήθηκε από τους μαθητές να αναφέρουν το μικρότερο αντικείμενο που μπορούν να δουν, καθώς και με ποιον τρόπο μπορούν να δουν μικρότερα αντικείμενα. Στη συνέχεια, τους ζητήθηκε να δώσουν έναν ορισμό για τη Νανοτεχνολογία. Τα αποτελέσματα, αναφορικά με το πρώτο ερώτημα, έδειξαν, πως το πιο μικρό αντικείμενο που μπορούν να δουν οι μαθητές, μπορούμε να το πιάσουμε με μια λαβίδα, ενώ πιο μικρά αντικείμενα μπορούμε να τα δούμε μόνο με το μικροσκόπιο. Σχετικά με τον όρο «Νανοτεχνολογία» φάνηκε να μην είναι ικανοί να διατυπώσουν έναν επιστημονικά αποδεκτό ορισμό, ενώ τουλάχιστον οι μισοί μαθητές φάνηκε να συνδέουν τη Νανοτεχνολογία με κάτι μικρό, γεγονός που ίσως οφείλεται σε πιθανή σύνδεση με την ετυμολογική προέλευση της λέξης.

Στα πλαίσια μιας εργασίας (Σακελλάρη, 2016), η οποία είχε ως στόχο το σχεδιασμό εκπαιδευτικού υλικού για την ένταξη εννοιών της Νανοτεχνολογίας στο Δημοτικό σχολείο, ερευνήθηκαν οι πρότερες γνώσεις των μαθητών πάνω σε φαινόμενα νανοκλίμακας. Πιο συγκεκριμένα, προκειμένου να αξιοποιηθούν στο σχεδιασμό του εκπαιδευτικού υλικού, δημιουργήθηκαν κάποια αρχικά ιχνογραφήματα από τους μικρούς μαθητές, με βάση τα οποία μελετήθηκαν οι γνώσεις τους σχετικά με την ικανότητα προσκόλλησης της σαύρας gecko αλλά και του spiderman σε διάφορες επιφάνειες, αψηφώντας τη βαρύτητα. Εξετάστηκαν, επίσης, οι ιδέες των μαθητών σχετικά με μεγέθη στη νανοκλίμακα, καθώς και ο τρόπος παρατήρησης τέτοιων

μεγεθών. Το συγκεκριμένο εκπαιδευτικό υλικό εφαρμόστηκε σε δείγμα 12 μαθητών της Στ' τάξης ενός Δημοτικού σχολείου της Φλώρινας. Τα αποτελέσματα των αρχικών ιχνογραφημάτων έδειξαν πως οι μαθητές δεν μπορούσαν να συνδέσουν τις ιδιότητες της σαύρας gecko και του spiderman με ιδιότητες ναοκλίμακας, ενώ φάνηκε να δυσκολεύονται στην κατανόηση μεγεθών στην κλίμακα του νάνο. Μετά την εφαρμογή του εκπαιδευτικού υλικού, οι αντιλήψεις των μαθητών σχετικά με τα φαινόμενα Νανοτεχνολογίας φάνηκε να μεταβάλλονται αισθητά.

Οι Αλεξίου, Πέικος, & Μάνου (2018) πραγματοποίησαν μελέτη αναφορικά με τις ιδέες μαθητών Δημοτικού σχολείου σχετικά με δύο φαινόμενα της φύσης στη νανομετρική κλίμακα, το φαινόμενο του λωτού και το φαινόμενο της σαύρας gecko. Τον πληθυσμό της έρευνας αποτέλεσαν 26 μαθητές της Στ' τάξης δύο Δημοτικών σχολείων της Φλώρινας. Για την πραγματοποίηση της έρευνας χρησιμοποιήθηκε γραπτό ερωτηματολόγιο. Στο ερωτηματολόγιο ζητήθηκε από τους μαθητές να απαντήσουν σε δύο ερωτήματα. Στο πρώτο ερώτημα, κλήθηκαν να εξηγήσουν το λόγο για τον οποίο το νερό όταν πέφτει στην επιφάνεια ενός λάχανου απομακρύνεται σε μορφή σφαιριδίων. Στο δεύτερο ερώτημα έπρεπε να εξηγήσουν τον λόγο για τον οποίο μια σαύρα έχει την ικανότητα να σκαρφαλώνει στο ταβάνι χωρίς να πέφτει. Τα αποτελέσματα έδειξαν πως οι μαθητές αποδίδουν τις ιδιότητες τόσο των φύλλων του λωτού (υδροφοβικότητα και αυτοκαθαρισμός) όσο και της σαύρας gecko (προσκόλληση σε διάφορες επιφάνειες λόγω της παρουσίας τριχιδίων μεγέθους νάνο στα πόδια της) σε φυσικά τους χαρακτηριστικά και όχι σε ιδιότητες ναοκλίμακας. Έτσι, κρίθηκε αναγκαία η ανάπτυξη μιας διδακτικής παρέμβασης, έτσι ώστε να αναθεωρηθούν οι αρχικές ιδέες των μαθητών πάνω στα συγκεκριμένα φαινόμενα.

Την ίδια χρονιά, ο Στέργιος Γκίτσας (2017) στα πλαίσια της μεταπτυχιακής διπλωματικής εργασίας του, η οποία είχε ως στόχο τον σχεδιασμό και την ανάπτυξη εκπαιδευτικού υλικού σχετικά με τη Νανοτεχνολογία και πιο συγκεκριμένα, το φαινόμενου του λωτού, πραγματοποίησε έρευνα σχετικά με τις αντιλήψεις των μαθητών για το συγκεκριμένο φαινόμενο. Για να μπορέσει να αξιολογηθεί το εκπαιδευτικό έργο, πραγματοποιήθηκε μία πιλοτική και μία τελική έρευνα. Τον πληθυσμό της πιλοτικής έρευνας αποτέλεσαν 15 μαθητές της Στ' τάξης ενός Δημοτικού σχολείου της περιοχής της Αλμωπίας, οι οποίοι δεν είχαν γνώσεις Νανοτεχνολογίας. Ως ερευνητικό εργαλείο χρησιμοποιήθηκε το γραπτό ερωτηματολόγιο. Βασικός στόχος ήταν να ερευνηθούν οι

πρότερες αντιλήψεις των μαθητών σχετικά με κάποιες έννοιες της Νανοτεχνολογίας, οι οποίες θα αποτελούσαν μέτρο σύγκρισης συγκριτικά με τις νέες αντιλήψεις τους, μετά την εφαρμογή της εκπαιδευτικής παρέμβασης. Τα ερωτήματα που χρησιμοποιήθηκαν, ζητούσαν από τους μαθητές να προσδιορίσουν τον όρο «Νανοτεχνολογία», να κατονομάσουν το μικρότερο αντικείμενο και να αναφέρουν το όργανο παρατήρησής του, να ταξινομήσουν και να τοποθετήσουν σε σειρά κάποια αντικείμενα ανάλογα με το μέγεθός τους, καθώς και να εξηγήσουν την υδροφοβικότητα που παρουσιάζει η επιφάνεια του λάχανου. Τα αποτελέσματα, αναφορικά με την εννοιοδότηση της Νανοτεχνολογίας έδειξαν πως οι μαθητές συνέδεσαν τη Νανοτεχνολογία με κάτι μικρό, η παρατήρηση του οποίου απαιτεί τη χρήση εξειδικευμένου οργάνου. Παρ' όλα αυτά δυσκολεύτηκαν να διατυπώσουν έναν επιστημονικό ορισμό. Σχετικά με το μικρότερο αντικείμενο, οι περισσότεροι μαθητές αναφέρθηκαν σε αντικείμενα του μικρόκοσμου, ενώ κανένας δεν ανέφερε κάποιο αντικείμενο του νανόκοσμου. Ως όργανο παρατήρησης των μικρών αντικειμένων, οι περισσότεροι μαθητές ανέφεραν το οπτικό μικροσκόπιο. Αναφορικά με την ταξινόμηση αντικειμένων σύμφωνα με το μέγεθός τους, οι μαθητές φάνηκε να δυσκολεύονται αρκετά, καθώς έκαναν αρκετά λάθη. Αντίθετα, στην τοποθέτηση αντικειμένων διάφορων κόσμων σε σειρά μεγέθους τα πήγαν αρκετά καλύτερα, αν και λίγοι μαθητές κατάφεραν να τοποθετήσουν σε σωστή σειρά όλα τα αντικείμενα. Τέλος, αναφορικά με το «φαινόμενου του λωτού» οι περισσότερες απαντήσεις χαρακτηρίστηκαν ως μερικώς επιστημονικές, καθώς δε μπόρεσαν να το συνδέσουν με ιδιότητες της νανοκλίμακας. Τα αποτελέσματα αυτά λήφθηκαν υπόψη στην τελική εφαρμογή και στην εκτίμηση της μεταβολής των αντιλήψεων των μαθητών. Τα αποτελέσματα της τελικής εφαρμογής έδειξαν, ότι οι αντιλήψεις των μαθητών σχετικά με τις έννοιες της Νανοτεχνολογίας παρουσίασαν σημαντική βελτίωση.

#### **2.4.2. Προσπάθειες ανάπτυξης υλικού για τη διδασκαλία Νανοτεχνολογίας στο Δημοτικό Σχολείο**

Τα τελευταία χρόνια έχουν πραγματοποιηθεί, στη χώρα μας, προσπάθειες ανάπτυξης και εφαρμογής διδακτικού υλικού, αναφορικά με τη διδασκαλία της Νανοτεχνολογίας στο Δημοτικό σχολείο, στις οποίες αξίζει να γίνει αναφορά, καθώς αποτελούν σημείο αναφοράς για όποιον επιθυμεί να σχεδιάσει παρόμοιο εκπαιδευτικό υλικό.



Οι Mandrikas, Michailidi, & Stavrou (2019) σχεδίασαν και εφάρμοσαν μια Διδακτική Μαθησιακή Ακολουθία (DMA) για μαθητές Στ' τάξης Δημοτικού σχολείου. Στόχος της μελέτης ήταν να διερευνηθεί ο τρόπος προσέγγισης βασικών εννοιών Νανοτεχνολογίας από τους μαθητές και σε ποιο βαθμό μπορούν να προβληματιστούν για θέματα RRI.<sup>2</sup> Η συγκεκριμένη DMA εστιάζει στις έννοιες «μέγεθος και κλίμακα» και «ιδιότητες που εξαρτώνται από το μέγεθος», ενώ συζητούνται θέματα RRI μέσω άρθρων εφημερίδων και της αλληλεπίδρασης των μαθητών με νανοεπιστήμονες. Πληθυσμό της έρευνας αποτέλεσαν 45 μαθητές της Στ' τάξης Δημοτικού σχολείου από την Ελλάδα και η μελέτη διεξήχθη κατά τη διάρκεια του ακαδημαϊκού σχολικού έτους 2014–15. Η έρευνα επικεντρώθηκε στη βασική διδασκαλία εννοιών της Νανοτεχνολογίας στο Δημοτικό σχολείο. Η συγκεκριμένη DMA αποσκοπούσε στην εισαγωγή μαθητών Δημοτικού σε θέματα Νανοτεχνολογίας, δίνοντάς τους μια αίσθηση του ρόλου της Νανοτεχνολογίας στην καθημερινή ζωή, καθώς και των πιθανών κινδύνων που μπορεί να έχει για το περιβάλλον και κοινωνία. Πιο συγκεκριμένα, τα επιδιωκόμενα αποτελέσματα της υλοποίησης της DMA για τους μαθητές ήταν: α) να εξοικειωθούν με το μέγεθος των αντικειμένων στη νανοκλίμακα και τη μέτρηση σε νανόμετρα, αντικείμενων του μακρόκοσμου, β) να γνωρίσουν τις ιδιότητες των υπερυδροφόβων υλικών, και γ) να αναπτύξουν ανησυχίες σχετικά με την παραγωγή και τη χρήση νανοϋλικών. Για τη συλλογή δεδομένων, χρησιμοποιήθηκαν τα φύλλα εργασίας των μαθητών που συμπληρώθηκαν κατά τη διάρκεια των μαθημάτων και συνεντεύξεις από ένα αντιπροσωπευτικό δείγμα μαθητών, οι οποίες πραγματοποιήθηκαν μετά την ολοκλήρωση του προγράμματος.

Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι η DMA ενίσχυσε την κατανόηση ορισμένων εννοιών Νανοτεχνολογίας από τους μαθητές. Πιο συγκεκριμένα, σχετικά με το μέγεθος της ύλης στη νανοκλίμακα το 87% των μαθητών ήταν ικανό, μετά το τέλος της DMA, να

---

<sup>2</sup> RRI: Η Ευρωπαϊκή Ένωση ανέπτυξε το πλαίσιο της Υπεύθυνης Έρευνας & Καινοτομία (Responsible Research & Innovation (RRI)). Το RRI αντιπροσωπεύει μια σύγχρονη άποψη της συνέργειας μεταξύ της επιστήμης και της κοινωνίας που προσπαθεί να καθιερώσει την κατανόησή από την κοινή γνώμη του ρόλου των διαφόρων ενδιαφερομένων (κυβερνήσεις, επιστήμονες, πολίτες κ.λπ.) προς τις διαδικασίες έρευνας και καινοτομίας. Το πλαίσιο RRI αποτελείται από τις εξής διαστάσεις: αφοσίωση, ισότητα των φύλων, επιστήμη, εκπαίδευση, δεοντολογία, ανοιχτή πρόσβαση και διακυβέρνηση (Ευρωπαϊκή Επιτροπή, 2012).

διακρίνει τη μακροκλίμακα, τη μικροκλίμακα και τη νανοκλίμακα και να ταξινομεί αντικείμενα ανάλογα με το μέγεθός τους. Επιπλέον, το 89% των μαθητών κατάφερε να χαρακτηρίσει σωστά τα υλικά ως υδρόφιλα, υδρόφοβα και υπερυδρόφοβα. Τέλος, το 62% των μαθητών εξήγησε την αλλαγή ιδιοτήτων στη νανοκλίμακα χρησιμοποιώντας την αναλογία επιφάνειας/όγκου. Σημαντικό ρόλο στην επίτευξη αυτών των αποτελεσμάτων φαίνεται πως έπαιξε η συμπερίληψη στη ΔΜΑ διαφορετικών ειδών δραστηριοτήτων, όπως λογισμικών, μετρήσεων, μοντέλων και πειραμάτων. Το τελικό συμπέρασμα που διατυπώθηκε ήταν ότι οι μαθητές Δημοτικού μπορούν να κατανοήσουν επαρκώς τις βασικές έννοιες Νανοτεχνολογίας «μέγεθος και κλίμακα» και «ιδιότητες που εξαρτώνται από το μέγεθος» και πως η ένταξη της Νανοτεχνολογίας στην Α/θμια Εκπαίδευση είναι όχι μόνο εφικτή αλλά και αναγκαία, γεγονός που συμβαδίζει και με τα αποτελέσματα παρόμοιων ερευνών που έχουν πραγματοποιηθεί σε άλλες χώρες.

Ένα ακόμη εκπαιδευτικό υλικό για τη διδασκαλία της Νανοτεχνολογίας (Πέικος, Μάνου, & Σπύρτου, 2015) σε μαθητές Δημοτικού σχολείου εφαρμόστηκε πιλοτικά, σε ένα δείγμα 10 μαθητών της Στ' τάξης, κατά το σχολικό έτος 2012-2013, στη Φλώρινα. Το υλικό αυτό περιλάμβανε εποπτικό υλικό, κυρίως βίντεο και εικόνες, σχετικό με αντικείμενα και φαινόμενα του νανόκοσμου, ενώ χρησιμοποιήθηκαν εκτενώς και μοντέλα αναπαράστασης, έτσι ώστε οι μαθητές να μπορέσουν να αντιληφθούν καλύτερα αντικείμενα και φαινόμενα που είναι αόρατα με γυμνό μάτι. Οι δραστηριότητες ήταν με τέτοιο τρόπο δομημένες, ώστε οι μαθητές να κατανοήσουν, κάνοντας χρήση μοντέλων, τις ιδιότητες των νανοϋλικών, να διακρίνουν τον μικρόκοσμο από τον νανόκοσμο, να εντοπίσουν, μέσω πειραμάτων, την εξάρτηση των ιδιοτήτων ενός υλικού από το μέγεθός του και τον τρόπο με τον οποίο μεταβάλλονται όταν αυτό αλλάζει κλίμακα μεγέθους και τέλος, να διαπιστώσουν πως μπορεί η Νανοτεχνολογία να συμβάλει στη βελτίωση της ζωής του ανθρώπου. Ο σχεδιασμός του εκπαιδευτικού υλικού βασίστηκε σε έξι από τις «Μεγάλες Ιδέες» της Νανοτεχνολογίας: α) μέγεθος και κλίμακα β) ιδιότητες που εξαρτώνται από το μέγεθος γ) εργαλεία και όργανα δ) μοντέλα και προσομοιώσεις ε) επιστήμη-τεχνολογία-κοινωνία στ) δυνάμεις και αλληλεπιδράσεις. Η εφαρμογή του πραγματοποιήθηκε σε διάρκεια πέντε διδακτικών δώρων, στα πλαίσια της Ευέλικτης Ζώνης και χρησιμοποιήθηκαν, συνολικά, 24 εκπαιδευτικά εργαλεία (βίντεο, εικόνες, animation, πειράματα, μεγεθυντικοί φακοί, μικροσκόπια, αφίσες, μοντέλα απεικόνισης κ.α.). Κάποια από αυτά τα υλικά χρησιμοποιήθηκαν έτοιμα ενώ

άλλα κατασκευάστηκαν από τους ίδιους τους μαθητές. Τα αποτελέσματα της αξιολόγησης του εκπαιδευτικού υλικού έδειξαν πως τα περισσότερα εργαλεία που χρησιμοποιήθηκαν λειτούργησαν θετικά. Συγκεκριμένα, τα 21 από τα 24 εργαλεία είχαν θετική εφαρμοσιμότητα (π.χ. κατασκευή μοντέλου για τη σαύρα gecko), ενώ σε τρία οι μαθητές αντιμετώπισαν δυσκολίες, είτε λόγω χρόνου, είτε χειρισμού του υλικού και πραγματοποίησης της δραστηριότητας. Έτσι, σε επόμενη εφαρμογή του εκπαιδευτικού υλικού προτάθηκε να αφαιρεθούν τα υλικά που δε λειτούργησαν θετικά. Τέλος, διαπιστώθηκε η μεγάλη αξία της χρήσης και κατασκευής μοντέλων στην κατανόηση νέων επιστημονικών εννοιών από τους μαθητές.

Σε συνέχεια της πιλοτικής εφαρμογής και βασισμένη στα αποτελέσματά της, οι Πέικος, Μανού & Σπύρτου (2016) προχώρησαν στην πρώτη κανονική εφαρμογή της ΔΜΑ για τη διδασκαλία της Νανοτεχνολογίας στο Δημοτικό σχολείο. Το δείγμα της ερευνητικής προσπάθειας ήταν 15 μαθητές της Στ' τάξης. Ως εργαλεία για την πραγματοποίηση της μελέτης χρησιμοποιήθηκαν: α) ερωτηματολόγιο, β) ημι-δομημένη συνέντευξη, γ) ημερολόγιο για την αξιολόγηση των δραστηριοτήτων. Τα ερευνητικά ερωτήματα αφορούσαν τη νοηματοδότηση της Νανοτεχνολογίας από τους μαθητές, το φαινόμενο της υδροφοβικότητας και τα όργανα παρατήρησης τόσο του νανόκοσμου, όσο του μικρόκοσμου και του μακρόκοσμου. Η ΔΜΑ πραγματοποιήθηκε σε έξι διδακτικά δώρα, των οποίων η δόμηση βασίστηκε στις ίδιες «Μεγάλες Ιδέες» στις οποίες είχε βασιστεί και η πιλοτική εφαρμογή. Τα αποτελέσματα της έρευνας έδειξαν πως μετά από την ολοκλήρωση της ΔΜΑ οι ιδέες των μαθητών αναφορικά με τα ερευνητικά ερωτήματα παρουσίασαν σημαντική βελτίωση, γεγονός που δίνει κίνητρο για περαιτέρω έρευνα και ενασχόληση με θέματα Νανοτεχνολογίας από μαθητές Δημοτικού.

Μια ακόμη εφαρμογή και αξιολόγηση της προηγούμενης ΔΜΑ πραγματοποιήθηκε σε πληθυσμό 22 μαθητών της Στ' τάξης Δημοτικού σχολείου. Βασικός στόχος της εφαρμογής ήταν να κατανοήσουν οι μαθητές πως και σε τι βαθμό σχετίζεται η νανοκλίμακα με την μακροκλίμακα. Η ΔΜΑ ολοκληρώθηκε σε έξι διδακτικά δώρα στα οποία οι μαθητές ήρθαν σε επαφή με έννοιες και φαινόμενα Νανοτεχνολογίας, όπως το φαινόμενο του λωτού και της ίωσης, γνώρισαν τους τρεις κόσμους (μικρόκοσμο, μακρόκοσμο, νανόκοσμο) και μέσα από εφαρμογές, όπως τα φίλτρα καθαρισμού του νερού, μπόρεσαν να αντιληφθούν πως η Νανοτεχνολογία και οι εφαρμογές της συνδέονται με την καθημερινή μας ζωή. Μεγάλη έμφαση δόθηκε στην

κατασκευή μοντέλων από τους ίδιους τους μαθητές, δίνοντάς τους έτσι την ευκαιρία να ανακαλύψουν μόνοι τους την αξία των μοντέλων στην αναπαράσταση αντικειμένων και να αναγνωρίσουν πως μπορούν να αποδειχθούν πολύ χρήσιμα εργαλεία κατάκτησης της γνώσης. Τα αποτελέσματα και αυτής της εφαρμογής της ΔΜΑ έδειξαν πως οι περισσότεροι μαθητές βελτίωσαν τις γνώσεις και τις ιδέες τους σχετικά με νανοτεχνολογικές έννοιες και φαινόμενα και άρχισαν να εκφράζονται χρησιμοποιώντας όρους νανογραμματισμού (nanoliteracy). Θεωρήθηκε, λοιπόν, πως η εφαρμογή της συγκεκριμένης ΔΜΑ είχε θετική επίδραση στους μαθητές (Πέικος Γ.,2016; Πέικος, Σπύρτου, & Μάνου, 2017).

Οι Σπύρτου, Μάνου, & Πέικος (2017) παρουσίασαν εκπαιδευτικό υλικό για τη διδασκαλία της Νανοτεχνολογίας στο Δημοτικό σχολείο, το οποίο επικεντρωνόταν κυρίως στην έννοια του μεγέθους και στον χωρισμό των αντικειμένων σε κατηγορίες ανάλογα με τον κόσμο στον οποίο ανήκουν αλλά και στο «φαινόμενο του λωτού». Το υλικό περιλάμβανε συγκεκριμένες δραστηριότητες με οδηγίες υλοποίησης για τους εκπαιδευτικούς και τους μαθητές, τα φύλλα εργασίας καθώς και αφίσες και οπτικοακουστικό υλικό, απαραίτητο για την ολοκλήρωση των δραστηριοτήτων.

Οι Βελέτζας, Δημητριάδη, Μανδρίκας, Μαργαρίτης, & Σάλτα (2015) σχεδίασαν, πραγματοποίησαν και αξιολόγησαν μια ΔΜΑ αναφορικά με τη διδασκαλία εννοιών και εφαρμογών Νανοτεχνολογίας σε μαθητές Λυκείου, Γυμνασίου και Δημοτικού. Η εργασία αυτή πραγματοποιήθηκε στο πλαίσιο μιας Κοινότητας Μάθησης βασισμένης στο Ευρωπαϊκό πρόγραμμα Irresistible<sup>3</sup> και στο οποίο συμμετείχαν ερευνητές από διάφορους επιστημονικούς τομείς. Η ΔΜΑ εφαρμόστηκε σε δύο Λύκεια, δύο Γυμνάσια και ένα Δημοτικό σχολείο. Η διδακτική ενότητα που εφαρμόστηκε ήταν ίδια για όλες τις βαθμίδες, έχοντας γίνει όμως οι απαραίτητες τροποποιήσεις στο υλικό ανάλογα με την ηλικία και το γνωστικό επίπεδο των μαθητών. Για την ολοκλήρωσή της πραγματοποιήθηκαν έξι συναντήσεις, κατά τη διάρκεια των οποίων πραγματοποιήθηκαν βιντεοπροβολές, παρουσιάσεις, πειράματα, επίσκεψη στο Μουσείο Φυσικών Επιστημών και παρακολούθηση διαδραστικής έκθεσης, δημιουργία πόστερ, παιχνιδιών και άλλων κατασκευών. Παράλληλα με την εφαρμογή της διδακτικής ενότητας πραγματοποιήθηκε έρευνα σχετικά με το πώς οι μαθητές μπορούν να αντιληφθούν βασικές έννοιες

---

<sup>3</sup> Περισσότερες πληροφορίες για το πρόγραμμα Irresistible στην ιστοσελίδα: <http://irresistible-project.eu/>

Νανοτεχνολογίας. Η έρευνα πραγματοποιήθηκε σε 45 μαθητές Δημοτικού, 20 μαθητές Γυμνασίου και 22 μαθητές Λυκείου. Ως εργαλεία συλλογής δεδομένων χρησιμοποιήθηκαν τα φύλλα εργασίας των μαθητών, ερωτηματολόγια, τα εκθέματα που δημιούργησαν καθώς και η παρατήρηση. Τα αποτελέσματα έδειξαν πως οι μαθητές όλων των βαθμίδων εκδήλωσαν μεγάλο ενδιαφέρον σχετικά με τις εφαρμογές της Νανοτεχνολογίας αλλά και για τις Φυσικές Επιστήμες γενικότερα. Μεγαλύτερη εντύπωση φάνηκε να τους προκάλεσε το πλήθος των εφαρμογών Νανοτεχνολογίας στον τομέα της Ιατρικής. Βασικό συμπέρασμα που εξήχθη ήταν πως με τον κατάλληλο σχεδιασμό είναι εφικτή η ένταξη της διδασκαλίας της Νανοτεχνολογίας στο πλαίσιο των Φυσικών Επιστημών τόσο στη Β/θμια Εκπαίδευση όσο και στην Α/θμια.

#### **2.4.3. Η Νανοτεχνολογία στην Άτυπη και μη-Τυπική Εκπαίδευση**

Σύμφωνα με τον Coombs (1974) η εκπαίδευση αποτελεί μια διαρκή διαδικασία η οποία περιλαμβάνει πλήθος μεθόδων, τεχνικών και μέσων και μπορεί να διακριθεί σε τρία είδη: α) την Τυπική, β) την Άτυπη και γ) την μη-Τυπική εκπαίδευση. Η Τυπική εκπαίδευση περιλαμβάνει το οργανωμένο και δομημένο σε βαθμίδες εκπαιδευτικό σύστημα κάθε χώρας, η Άτυπη εκπαίδευση περιλαμβάνει τη δια βίου μάθηση και απόκτηση γνώσεων, στάσεων και συμπεριφορών μέσα από καθημερινές εμπειρίες, σε ένα μη οργανωμένο και συστηματικό πλαίσιο και τέλος, η μη-Τυπική εκπαίδευση, περιλαμβάνει οργανωμένες και συστηματικές δράσεις, εκτός τυπικού πλαισίου Εκπαίδευσης, οι οποίες αφορούν συγκεκριμένο εκπαιδευτικό αντικείμενο και πληθυσμιακή ομάδα.

Όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως, οι περισσότερες προσπάθειες εμπλοκής των μαθητών Α/θμιας εκπαίδευσης έχουν πραγματοποιηθεί στα πλαίσια της Άτυπης και μη-Τυπικής εκπαίδευσης, δηλαδή έχουν υλοποιηθεί εκτός πλαισίου του τυπικού συστήματος (Coombs, 1969) και περιλαμβάνουν εκθέσεις Νανοτεχνολογίας σε μουσεία ή Πανεπιστήμια, επιστημονικά εκπαιδευτικά προγράμματα, ιστοσελίδες με περιεχόμενο Νανοτεχνολογίας και περιοδικά.

Το 2015 πραγματοποιήθηκε μελέτη με στόχο να αξιολογήσει ένα πρόγραμμα Νανοτεχνολογίας που πραγματοποιήθηκε στην Ταϊβάν, στο οποίο συμμετείχαν τέσσερα Δημοτικά σχολεία της περιοχής. Το εκπαιδευτικό πρόγραμμα, βασισμένο στη Νανοτεχνολογία, πραγματοποιήθηκε στα πλαίσια μια κατασκήνωσης στο I-Lan City της Ταϊβάν, και είχε ως στόχο την προώθηση της επιστήμης στην εκπαίδευση μέσω

διαφόρων δράσεων στις οποίες έλαβαν μέρος οι μαθητές. Το πρόγραμμα υλοποιήθηκε ως ένα πρότζεκτ Νανοτεχνολογίας και επικεντρώθηκε στην ανάπτυξη κατάλληλα ειδικευμένου μελλοντικού εργατικού δυναμικού καθώς και στην προώθηση της επιστημονικής εκπαίδευσης. Οι συμμετέχοντες στην έρευνα ήταν 323 μαθητές Στ' τάξης, από τέσσερα Δημοτικά σχολεία στο I-Lan City της Ταϊβάν, οι οποίοι αξιολογήθηκαν πριν και μετά το πέρας των βασισμένων στη Νανοτεχνολογία δράσεων της κατασκήνωσης. Οι δράσεις σχεδιάστηκαν από ειδικά εκπαιδευμένους, πάνω στο συγκεκριμένο πρόγραμμα, εκπαιδευτικούς και περιλάμβαναν βιβλιογραφική έρευνα σχετική με τη Νανοτεχνολογία, πειράματα, επισκέψεις σε εκθεσιακούς χώρους, διαδραστικά παιχνίδια και κουίζ. Ειδικά για αυτήν τη μελέτη, σχεδιάστηκε και εγκρίθηκε από ειδικούς που θέλησαν να αξιολογήσουν το περιεχόμενό της και την εγκυρότητα του προγράμματος, ένα ερωτηματολόγιο, ως ερευνητικό εργαλείο, το οποίο περιλάμβανε τρεις τομείς σχετικούς με τη Νανοτεχνολογία: «Νανοφαινόμενα στον φυσικό κόσμο», «νανοϋλικά και οι επιδράσεις της κλίμακας», και «ορισμός, χαρακτηριστικά και εφαρμογές της Νανοτεχνολογίας». Τα αποτελέσματα έδειξαν σημαντική βελτίωση των ιδεών των μαθητών αναφορικά με τις έννοιες της Νανοτεχνολογίας με τις οποίες ήρθαν σε επαφή. Στις 8 από τις 15 ερωτήσεις του ερωτηματολογίου, οι οποίες αναφέρονταν στη Νανοτεχνολογία, υπήρξε θετική αλλαγή για περισσότερο από το 30% των μαθητών. Έτσι, εξήχθη το συμπέρασμα ότι το συγκεκριμένο επιστημονικό πρόγραμμα θεωρείται κατάλληλο για την προώθηση των επιστημών, γενικά, και της Νανοτεχνολογίας, συγκεκριμένα, στα δημοτικά σχολεία (Lin, Wu, Cho, & Chen, 2015).

Μια ακόμη έρευνα πραγματοποιήθηκε στη Νότια Αφρική, η οποία επικεντρώνεται σε μια έκθεση Νανοτεχνολογίας που παρουσιάστηκε, προσωρινά, σε ένα μεγάλο επιστημονικό κέντρο του Κέιπ Τάουν και είχε ως στόχο να εκθέσει τους μαθητές και το κοινό στη Νανοεπιστήμη και τη Νανοτεχνολογία. Η έκθεση παρουσίαζε τεχνικές, εφαρμογές και άλλες έννοιες γύρω από τη Νανοεπιστήμη και τη Νανοτεχνολογία χρησιμοποιώντας αφίσες, βίντεο και διαδραστικές οθόνες. Απευθυνόταν σε ανθρώπους, οι οποίοι δεν είχαν γνώσεις σχετικά με το αντικείμενο, καθώς κάλυπτε στοιχειώδεις έννοιες όπως το μέγεθος, η κλίμακα, όργανα παρατήρησης και εφαρμογές της. Τα δεδομένα της έρευνας συλλέχθηκαν από τέσσερα Δημοτικά σχολεία του Γιοχάνεσμπουργκ. Οι μαθητές μόνο των δύο εκ των τεσσάρων σχολείων επισκέφτηκαν την έκθεση ενώ οι υπόλοιποι όχι. Οι μαθητές από τα σχολεία που επισκέφτηκαν την

έκθεση, χρησίμευσαν ως πειραματική ομάδα περίπτωσης, και οι υπόλοιποι σχημάτισαν την ομάδα ελέγχου. Δείγμα της μελέτης αποτέλεσαν 100 μαθητές Δημοτικού, ηλικίας 11 έως 13 ετών. Οι μαθητές αλληλεπίδρασαν με τα εκθέματα κατά την επίσκεψή τους στο επιστημονικό κέντρο, λαμβάνοντας μέρος σε διάφορες δραστηριότητες που είχαν ως στόχο να τους εκθέσουν στη Νανοεπιστήμη και στη Νανοτεχνολογία. Ως εργαλεία συλλογής δεδομένων χρησιμοποιήθηκαν ερωτηματολόγια, ημι-δομημένες συνεντεύξεις και ομαδικές συζητήσεις. Οι ερωτήσεις των ερωτηματολογίων αφορούσαν έννοιες της Νανοτεχνολογίας όπως: ορισμός του νανοϋλικού, μεγέθη της νανοκλίμακας, συμπεριφορά και ιδιότητες των νανοϋλικών, όργανα προβολής υλικών νανοκλίμακας, εφαρμογές Νανοτεχνολογίας, κίνδυνοι που σχετίζονται με τη Νανοτεχνολογία και γενικές γνώσεις. Τα αποτελέσματα έδειξαν πως υπήρξε σημαντική διαφοροποίηση στην κατανόηση των εννοιών ανάμεσα στους μαθητές που παρακολούθησαν την έκθεση συγκριτικά με αυτούς που δεν την παρακολούθησαν. Εξήχθη, έτσι, το συμπέρασμα ότι η επίσκεψη στο επιστημονικό κέντρο έπαιξε κρίσιμο ρόλο στη διαμόρφωση και κατάκτηση εννοιών Νανοτεχνολογίας από τους μαθητές καθώς και στην αύξηση του ενδιαφέροντός των μαθητών σχετικά με θέματα Νανοτεχνολογίας. Τέλος, από την παρούσα έρευνα, η οποία θα μπορούσε να χρησιμεύσει ως παράδειγμα εκμάθησης επιστημονικών εννοιών εκτός του συμβατικού περιβάλλοντος τάξης, φάνηκε η δυνατότητα των διαφόρων επιστημονικών κέντρων να εκθέσουν τους νέους μαθητές σε σύνθετες έννοιες της Νανοεπιστήμης και της Νανοτεχνολογίας (Saidi & Sigauke, 2017).

Στην Ελλάδα, στο Εθνικό Κέντρο Έρευνας Φυσικών Επιστημών «Δημόκριτος» εφαρμόστηκε και αξιολογήθηκε ένα πρόγραμμα εισαγωγής εννοιών Νανοτεχνολογίας, στο πλαίσιο μαθήματος που αφορούσε τη συντήρηση μνημείων, το οποίο περιλάμβανε δραστηριότητες εισαγωγής εννοιών Νανοτεχνολογίας για παιδιά προσχολικής ηλικίας, προσαρμοσμένες και σχεδιασμένες με παιγνιώδη τρόπο. Στο πρόγραμμα συμμετείχαν 13 μαθητές ενός ιδιωτικού σχολείου της Αθήνας και ως μέσο αξιολόγησης χρησιμοποιήθηκε η ημι-δομημένη συνέντευξη και τα ιχνογραφήματα των μαθητών. Από τα αποτελέσματα φάνηκε πως οι μικροί μαθητές είχαν την ικανότητα να κατανοούν και να αναφέρουν κάποιες έννοιες Νανοτεχνολογίας (Κρεμμύδα, 2019).

Ένα ακόμη εκπαιδευτικό υλικό με περιεχόμενο Νανοτεχνολογίας και συγκεκριμένα για το «φαινόμενο του λωτού» σχεδιάστηκε και εφαρμόστηκε στην Παιδαγωγική Σχολή Φλώρινας. Βασικός στόχος της συγκεκριμένης ερευνητικής

προσπάθειας ήταν να αναπτυχθεί από τους μαθητές νανοτεχνολογικός γραμματισμός και να κινητοποιηθεί το ενδιαφέρον τους σχετικά με φαινόμενα Νανοτεχνολογίας. Η διδακτική παρέμβαση πραγματοποιήθηκε σε δύο φάσεις, πρώτα, με μια πιλοτική εφαρμογή στα πλαίσια μιας εκπαιδευτικής επίσκεψης και στη συνέχεια, με μια τελική εφαρμογή στα πλαίσια του Φεστιβάλ Φυσικών Διεπαφών. Και στις δύο περιπτώσεις συμμετείχαν ομάδες μαθητών που φοιτούσαν στην Στ΄ τάξη Δημοτικών σχολείων της περιοχής της Φλώρινας. Τα αποτελέσματα τόσο της πιλοτικής όσο και κυρίως της τελικής εφαρμογής έδειξαν πως το ενδιαφέρον των μαθητών πάνω σε φαινόμενα Νανοτεχνολογίας αυξήθηκε και πως πολλοί μαθητές άρχισαν να χρησιμοποιούν επιστημονικούς όρους στο λεξιλόγιό τους. Έτσι, κρίθηκε σκόπιμη η περαιτέρω συνέχιση της έρευνας, βελτιώνοντας διάφορους άξονές της, καθώς και η εφαρμογή της σε μεγαλύτερο πληθυσμιακό δείγμα (Γκίτσας, 2017).

Εκτός από τις παραπάνω μελέτες αξίζει να αναφερθούμε και σε άλλες προτάσεις Νανοτεχνολογίας που έχουν πραγματοποιηθεί ή πραγματοποιούνται με τη μορφή εκθέσεων, εκπαιδευτικών προγραμμάτων, διαδικτυακών ιστότοπων και ηλεκτρονικών ή έντυπων περιοδικών οι οποίες παραθέτονται στον παρακάτω πίνακα:

**Πίνακας 1: Η Νανοτεχνολογία στην Άτυπη και μη-Τυπική Εκπαίδευση**

<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Trynano.org:</b> Είναι ένας ιστότοπος ο οποίος περιλαμβάνει βασικές πληροφορίες για την Νανοτεχνολογία, ηλεκτρονικούς συνδέσμους προς διάφορους διαδικτυακούς πόρους και διασκεδαστικά παιχνίδια Νανοτεχνολογίας. Τα παιδιά μπορούν αν γνωρίσουν για τα νανοϊλικά και να έρθουν σε επαφή με νανοτεχνολογικές εφαρμογές. <a href="https://trynano.org/">https://trynano.org/</a></li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Materials education website:</b> Ο συγκεκριμένος ιστότοπος περιλαμβάνει μια μεγάλη συλλογή με δραστηριότητες οι οποίες μπορούν να πραγματοποιηθούν στην τάξη ή σε χώρους άτυπης εκπαίδευσης. Χρησιμοποιούνται παραδείγματα Νανοτεχνολογίας και προηγμένων υλικών με βασικό στόχο να βελτιώσουν την κατανόηση του κοινού σε επιστημονικές έννοιες. Υπάρχουν δραστηριότητες που μπορούν να γίνουν στο σπίτι, ψηφιακά παιχνίδια, χειροπρακτικές εργασίες και ψηφιακά εργαστήρια. <a href="https://materialeducation.org/resources/instructional-resources/">https://materialeducation.org/resources/instructional-resources/</a></li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Nanooze:</b> Το nanooze είναι ένα διαδικτυακό περιοδικό το οποίο κυκλοφορεί και σε έντυπη μορφή. Μέσα από αυτό δίνεται στα παιδιά η δυνατότητα να ανακαλύψουν τον συναρπαστικό κόσμο του μικρόκοσμου και του νανόκοσμου με διασκεδαστικό τρόπο. Είναι ένα περιοδικό που δημιουργήθηκε με στόχο να προκαλέσει τον ενθουσιασμό των παιδιών για την επιστήμη και ιδιαίτερα για την Νανοτεχνολογία. Κάθε τεύχος περιλαμβάνει άρθρα, έγχρωμες εικόνες και ενδιαφέροντα θέματα Νανοτεχνολογίας κατάλληλα προσαρμοσμένα για παιδιά. Δίνεται επίσης η δυνατότητα στα παιδιά να επικοινωνήσουν με πραγματικούς επιστήμονες. <a href="http://www.nanooze.org/">http://www.nanooze.org/</a></li> </ul>



<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>It's a Nanoworld:</b> Το «It's a Nanoworld» είναι μια μουσειακή έκθεση Νανοτεχνολογίας που πραγματοποιήθηκε στις ΗΠΑ. Μέσα από χειροπρακτικές δραστηριότητες τα παιδιά μαθαίνουν για την επίδραση της Νανοτεχνολογίας στην καθημερινή ζωή του ανθρώπου. Απευθύνεται σε παιδιά ηλικίας 5 έως 8 ετών και βασικός στόχος των δραστηριοτήτων ήταν να προσεγγίσουν τα παιδιά την ιδέα «Μέγεθος και κλίμακα» και να έρθουν σε επαφή με επιστημονικούς όρους. <a href="http://www.sciencenter.org/nano-world.html">http://www.sciencenter.org/nano-world.html</a></li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Museum of Science:</b> Αποτελεί μια μόνιμη έκθεση Νανοτεχνολογίας στη Βοστώνη, όπου τα παιδιά μπορούν να εξερευνήσουν τον μαγικό κόσμο του νανόκοσμου και να γνωρίσουν πώς οι επιστήμονες χειρίζονται την ύλη στη νανοκλίμακα δημιουργώντας νέα υλικά και συσκευές. Περνώντας από διαδραστικούς σταθμούς, οι επισκέπτες μπορούν να διερευνήσουν πώς οι ιδιότητες των υλικών αλλάζουν στη νανοκλίμακα. <a href="https://www.mos.org/">https://www.mos.org/</a></li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Nanoyou:</b> Το Nanoyou είναι ένα έργο που χρηματοδοτείται από την Ευρωπαϊκή Επιτροπή και έχει ως στόχο την αύξηση της κατανόησης νανοτεχνολογικών εννοιών. Απευθύνεται σε νέους ηλικίας 11 έως 25 ετών και αποτελεί ένα πρόγραμμα που μπορεί να εφαρμοστεί σε σχολεία και επιστημονικά κέντρα. Ο ιστότοπος nanoyou.eu, που χρησιμεύει ως εργαλείο, διαθέτει πλήθος εικονικών δραστηριοτήτων, πειράματα, εργαστήρια και forum όπου οι μαθητές μπορούν να ανταλλάξουν πληροφορίες και εμπειρίες. Στις δραστηριότητες και στα υλικά περιλαμβάνονται κινούμενες εικόνες, προσομοιώσεις, εικονικά πειράματα, παιχνίδια και πλήθος άλλων δραστηριοτήτων. <a href="https://nanoyou.eu/">https://nanoyou.eu/</a></li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Nanoaventura:</b> Η Nanoaventura είναι μια διαδραστική έκθεση Νανοτεχνολογίας για παιδιά και εφήβους ηλικίας 8 έως 14 ετών, που πραγματοποιήθηκε στη Βραζιλία το 2005. Βασίστηκε σε διαδραστικά παιχνίδια και τεχνικές οπτικής επικοινωνίας και αποσκοπούσε να φέρει σε επαφή τα παιδιά με βασικές έννοιες Νανοτεχνολογίας καθώς και πιθανές εφαρμογές της, επιτρέποντας στους επισκέπτες να χειριστούν αντικείμενα του νανόκοσμου μέσω συσκευών προσομοίωσης και διαδραστικών ηλεκτρονικών παιχνιδιών. Η Nanoaventura φάνηκε να συμβάλλει θετικά στην κατανόηση και την καλλιέργεια επιστημονικής σκέψης πάνω βασικές έννοιες όπως το μέγεθος και η κλίμακα και τα βασικά δομικά στοιχεία της ύλης (Murriello, Contier, &amp; Knobel, 2008).</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Nanodays:</b> Τα Nanodays είναι ετήσια Φεστιβάλ εκπαιδευτικών προγραμμάτων σχετικών με τη Νανοεπιστήμη και τον αντίκτυπό της στην κοινωνία. Περιλαμβάνουν χειραπτικές δραστηριότητες Νανοτεχνολογίας και πραγματοποιούνται σε μουσεία, σε ερευνητικά κέντρα και πανεπιστήμια της Αμερικής. Προσελκύουν ανθρώπους όλων των ηλικιών που επιθυμούν να γνωρίσουν το νέο αναδυόμενο πεδίο έρευνας. Διερευνούν θέματα ιδιοτήτων των υλικών και εξετάζουν τον αντίκτυπο που έχουν οι εφαρμογές της Νανοτεχνολογίας στην κοινωνία. <a href="https://www.nisenet.org/nanodays">https://www.nisenet.org/nanodays</a></li> </ul>

Οι παραπάνω προσπάθειες εισαγωγής της Νανοτεχνολογίας στην Άτυπη και μη-Τυπική Εκπαίδευση παιδιών σχολικής ηλικίας, καθώς και πολλές άλλες που πραγματοποιούνται ανά περιόδους στον κόσμο, φανερώσουν το ενδιαφέρον που υπάρχει από διάφορους κρατικούς και ιδιωτικούς φορείς για την προώθηση του νέου αναδυόμενου επιστημονικού πεδίου, καθώς και την ανάγκη εκπαίδευσης πάνω στο πεδίο αυτό από μικρή ηλικία. Έτσι, τα παιδιά θα αποκτήσουν τα απαραίτητα εφόδια έτσι ώστε, σαν μελλοντικοί πολίτες, να είναι ικανοί να ανταπεξέλθουν στις νέες απαιτήσεις.

## **Κεφάλαιο 3. Παρουσίαση εφαρμογών/πειραμάτων**

### **Νανοτεχνολογίας στην Α/θμια Εκπαίδευση**

#### **3.1 Η αξία του πειράματος στη διδασκαλία των Φυσικών Επιστημών**

Τα τελευταία χρόνια, στη σύγχρονη Παιδαγωγική έχει επικρατήσει η βιωματική προσέγγιση της μάθησης. Σύμφωνα με το Εποικοδομητικό μοντέλο μάθησης, ο μαθητής οικοδομεί ο ίδιος τη νέα γνώση με βάση τις προϋπάρχουσες εμπειρίες του. Η μάθηση αποτελεί μια ενεργητική διαδικασία οικοδόμησης γνώσεων σε μια διαρκή προσαρμογή με το περιβάλλον. Έχει αποδειχθεί πως όταν η γνώση γίνεται «βίωμα», δηλαδή όταν αποκτάται μέσα από την έμπρακτη εμπλοκή του μαθητή στη μαθησιακή διαδικασία, αφομοιώνεται καλύτερα και κατακτιέται πραγματικά. Σύμφωνα με τον Piaget, η βιωματική επαφή με αντικείμενα του περιβάλλοντος έχει σημαντικά θετική επίδραση στο παιδί και στο σχηματισμό εννοιών (Κόκκοτας & Βλάχος, 2000). Η ενεργητική εμπλοκή του μαθητή μπορεί να οδηγήσει σε μετασχηματισμό της προϋπάρχουσας γνώσης και παραγωγή νέας. Σύμφωνα με την Ψυχολογία της μάθησης, οι μαθητές μπορούν να κατανοούν καλύτερα νέες έννοιες, όταν έχουν μια βιωματική εμπειρία, καθώς υπάρχει ταύτιση της προσωπικότητάς τους με τις έννοιες αυτές. Με βάση τα παραπάνω, αφού η γνώση πηγάζει από την εμπειρία, είναι αδιαμφισβήτητη η αξία της χρήσης πειραμάτων στη διδασκαλία του μαθήματος της Φυσικής.

Η ένταξη πειραμάτων στη διδασκαλία του μαθήματος της Φυσικής θεωρείται απαραίτητη καθώς, εκτός από την εμπειρία που θα αποκτήσουν οι μαθητές, η οποία θα οδηγήσει σε βαθύτερη γνώση των εννοιών, τους δίνεται η δυνατότητα να αποκτήσουν και άλλες δεξιότητες, όπως δεξιότητες σχετικές με την παρατήρηση φυσικών φαινομένων, δεξιότητες επίλυσης προβλημάτων και επικοινωνιακές δεξιότητες (Κώτσης, 2001). Επίσης, έχει παρατηρηθεί πως οι μαθητές φαίνονται περισσότερο ικανοποιημένοι, όταν εμπλέκονται ενεργά στην πειραματική διαδικασία, σε σχέση με το να είναι απλοί παρατηρητές.

Το πείραμα μπορεί να χρησιμοποιηθεί στη διδασκαλία του μαθήματος της Φυσικής, με δύο τρόπους: α) ως πείραμα το οποίο εκτελείται από τον ίδιο το μαθητή ή από μια μικρή ομάδα μαθητών ή β) ως πείραμα επίδειξης, το οποίο πραγματοποιείται από τον ίδιο τον εκπαιδευτικό και οι μαθητές παίρνουν το ρόλο του παρατηρητή συμμετέχοντας, κυρίως, στην εξαγωγή του συμπεράσματος. Και οι δύο αυτοί τρόποι, αν

και αποτελούν δύο διαφορετικές διαδικασίες με εντελώς διαφορετική εμπλοκή των μαθητών, μπορούν να έχουν σημαντική συνεισφορά στη μαθησιακή διαδικασία.

Το πείραμα που πραγματοποιείται από τον μαθητή, του προσφέρει μια πραγματική εμπειρία στην οποία ο ίδιος γίνεται ενεργός συμμετοχός στην κατανόηση των νέων εννοιών και την κατάκτηση της γνώσης. Η νέα γνώση του γίνεται βίωμα, με αποτέλεσμα να κατανοηθεί καλύτερα και να αποκτήσει στέρεα θεμέλια. Επιπροσθέτως, όταν ο μαθητής εμπλέκεται ο ίδιος σε ένα πείραμα, αποκτά πλήθος νέων δεξιοτήτων ή βελτιώνει ήδη υπάρχουσες. Τέτοιες δεξιότητες μπορούν να αφορούν τη χρήση εξειδικευμένων ή όχι συσκευών, είτε να είναι χειραπτικές δεξιότητες, δεξιότητες κινητικού συντονισμού ή αυτοελέγχου. Επίσης, δίνεται η δυνατότητα στον μαθητή να αυτενεργήσει, να συνεργαστεί με άλλους ως προς την επίτευξη ενός συγκεκριμένου στόχου, να οργανώσει, να ελέγξει τη διαδικασία και να εξάγει μόνος του συμπεράσματα. Ο μαθητής, έτσι, γίνεται περισσότερο υπεύθυνος, οργανωτικός, προσεκτικός και αντικειμενικός. Τέλος, έχει αποδειχθεί πως το ενδιαφέρον για μάθηση αυξάνεται, ο ίδιος γίνεται περισσότερο δημιουργικός και η ίδια η μαθησιακή διαδικασία πιο ευχάριστη (Κόκκοτας & Βλάχος, 2000).

Το πείραμα επίδειξης, από την άλλη, μπορεί να στερείται την ουσιαστική εμπλοκή των μαθητών, όμως έχει κι αυτό να προσφέρει πολλά στη διδασκαλία των Φυσικών Επιστημών. Αρχικά, όταν μιλάμε για πείραμα επίδειξης αναφερόμαστε σε ένα πείραμα το οποίο έχει σχεδιαστεί προσεκτικά, με στόχο να παρουσιάσει και να κάνει κατανοητό στους μαθητές κάποιο φαινόμενο. Χρησιμοποιείται, κυρίως, όταν ο υλικοτεχνικός εξοπλισμός δεν είναι επαρκής, έτσι ώστε να έχουν τη δυνατότητα οι μαθητές να εκτελέσουν μόνοι τους το πείραμα ή σε περιπτώσεις όπου το πείραμα παρουσιάζει κάποιο βαθμό επικινδυνότητας και επιβάλλεται να εκτελεστεί μόνο από τον εκπαιδευτικό για λόγους ασφαλείας. Με τη χρήση πειραμάτων επίδειξης αυξάνεται το ενδιαφέρον των μαθητών και το μάθημα γίνεται περισσότερο ελκυστικό. Ειδικά σε περιπτώσεις ανεπαρκούς υποδομής και έλλειψης εργαστηρίων, τα πειράματα επίδειξης μπορούν να συμβάλλουν σημαντικά στην κατανόηση εννοιών και φαινομένων από τους μαθητές και να τους οδηγήσουν στην κατάκτηση της γνώσης.

Ένα πείραμα, για να θεωρηθεί πως επιτυγχάνει το σκοπό του, οφείλει κατά τη διάρκεια της εκτέλεσής του να επιδιώκει την ενεργό συμμετοχή των μαθητών. Οι μαθητές είναι δυνατόν να εμπλέκονται στην πειραματική διαδικασία κάνοντας

υποθέσεις και εκτιμήσεις, εκφράζοντας τις απόψεις τους και συμμετέχοντας στην εξαγωγή των συμπερασμάτων. Ο εκπαιδευτικός οφείλει να παρακινεί και να παροτρύνει τους μαθητές προς αυτή την κατεύθυνση, έτσι ώστε αυτοί, με την ενεργό συμμετοχή τους, να αποκομίσουν το μέγιστο δυνατό κέρδος (Κόκκοτας & Βλάχος, 2000).

### **3.2 Παρουσίαση εφαρμογών Νανοτεχνολογίας με τη χρήση πειραμάτων**

Η αξία της χρήσης πειραμάτων στη διδασκαλία εννοιών Φυσικών Επιστημών, λοιπόν, είναι πλέον δεδομένη. Έτσι, δε θα υπήρχε καλύτερος τρόπος παρουσίασης εφαρμογών Νανοτεχνολογίας σε μαθητές Δημοτικού, μέσα από δραστηριότητες οι οποίες περιλαμβάνουν απλά πειράματα, τα οποία θα μπορούν να τα πραγματοποιήσουν εύκολα και οι ίδιοι οι μαθητές, χρησιμοποιώντας απλά υλικά, τα οποία όμως εξαιτίας νανοδομών, παρουσιάζουν ξεχωριστές ιδιότητες. Μέσα από την εμπλοκή τους με τέτοια υλικά θα τους δοθεί η δυνατότητα να ανακαλύψουν μόνοι τους τον νανόκοσμο και τις «μαγικές» του ιδιότητες.

Στη συγκεκριμένη ενότητα θα παρουσιαστούν απλές δραστηριότητες, οι οποίες περιέχουν, κυρίως, πειράματα που μπορούν να πραγματοποιηθούν μέσα σε μια σχολική τάξη και να φέρουν τους μαθητές σε επαφή με νανοϋλικά και τις ξεχωριστές ιδιότητες τους. Η επιλογή των συγκεκριμένων δραστηριοτήτων έγινε μετά από ενδελεχή εξέταση της βιβλιογραφίας, καθώς και ανάλογων προσπαθειών παρουσίασης εφαρμογών Νανοτεχνολογίας για παιδιά Δημοτικού που έχουν πραγματοποιηθεί παγκοσμίως, τόσο στην Τυπική όσο και στην Άτυπη και μη-Τυπική Εκπαίδευση. Βασική επιδίωξη κατά την επιλογή ήταν, οι δραστηριότητες να ανταποκρίνονται στην ηλικία και τις πρότερες γνώσεις των μαθητών καθώς και να μπορούν εύκολα να πραγματοποιηθούν στο σχολικό περιβάλλον, χωρίς να είναι απαραίτητη η χρήση εξειδικευμένου εξοπλισμού ή εργαστηρίου. Οι δραστηριότητες αυτές μπορούν να ενταχθούν είτε σαν επιπρόσθετο υλικό στα μαθήματα του σχολικού βιβλίου της Ε΄ και Στ΄ τάξης Δημοτικού είτε ως ξεχωριστή ενότητα, η οποία συνδέεται άμεσα με το μάθημα της Φυσικής. Οι μαθητές της Ε΄ και Στ΄ τάξης, μέσα από απλά πειράματα, μπορούν να γνωρίσουν τις ξεχωριστές ιδιότητες κάποιων υλικών οι οποίες οφείλονται σε δομές νανοκλίμακας, να έρθουν σε επαφή με εμπορικά προϊόντα τα οποία χρησιμοποιούν Νανοτεχνολογία και να γνωρίσουν τη χρήση τους, κατανοώντας ταυτόχρονα που οφείλονται οι ιδιότητες που παρουσιάζουν.

Οι δραστηριότητες, με βάση το περιεχόμενό τους και τους επιδιωκόμενους στόχους μπορούν να χωριστούν σε τρεις ενότητες: Α) Εισαγωγή στη νανοκλίμακα, Β) Ιδιότητες νανοϋλικών, Γ) Παρουσίαση εμπορικών εφαρμογών.

## **A. Εισαγωγή στη Νανοκλίμακα**

Ο κόσμος, έτσι όπως τον αντιλαμβανόμαστε, μπορεί να διακριθεί στον μακρόκοσμο, τον μικρόκοσμο και τον νανόκοσμο. Αρκετά γενικευμένα, ο μακρόκοσμος περιλαμβάνει οτιδήποτε μπορεί να γίνει αντιληπτό με γυμνό μάτι, ο μικρόκοσμος περιλαμβάνει αντικείμενα τα οποία δεν είναι ορατά στο ανθρώπινο μάτι χωρίς τη χρήση μικροσκοπίου, ενώ ο νανόκοσμος περιλαμβάνει αντικείμενα μεγέθους μικρότερου από ένα κύτταρο και μεγαλύτερα από ένα άτομο.

Οι δραστηριότητες που παρουσιάζονται σε αυτήν την ενότητα έχουν ως κύριο στόχο να εισάγουν τους μαθητές στον νανόκοσμο. Μέσα από συγκεκριμένες δράσεις θα δοθεί στους μαθητές η δυνατότητα να κατανοήσουν το μέγεθος της νανοκλίμακας και της μικροκλίμακας σε σχέση με τη μακροκλίμακα, να έρθουν σε επαφή με υλικά νανομεγέθους και να συνειδητοποιήσουν πως ακόμα και αν η όρασή μας, ως αισθητήριο όργανο, δεν είναι δυνατόν να αντιληφθεί υλικά τόσο μικρού μεγέθους, υπάρχουν άλλοι, εναλλακτικοί τρόποι να τα αντιληφθούμε.

Οι τρεις πρώτες δραστηριότητες<sup>4</sup>, οι οποίες είναι άμεσα συνδεδεμένες μεταξύ τους, κάθε μια αποτελεί συνέχεια της προηγούμενης, έχουν ως στόχο οι μαθητές να γνωρίσουν τον νανόκοσμο σε σχέση με τον μακρόκοσμο και τον μικρόκοσμο. Βασικός σκοπός των συγκεκριμένων δραστηριοτήτων είναι να αποκτήσουν οι μαθητές την ικανότητα να διαχωρίζουν τα διάφορα αντικείμενα με βάση το μέγεθός τους και να μπορούν να προσδιορίζουν σε ποια κλίμακα μεγέθους ανήκουν.

---

<sup>4</sup>Για την υλοποίηση των τριών πρώτων δραστηριοτήτων προτείνεται να χρησιμοποιηθούν εικόνες από τους διαδικτυακούς συνδέσμους:

<https://www.nnin.org/education-training/k-12-teachers/nanotechnology-curriculum-materials/big-vs-little-%E2%80%93-micro-nano>

<https://www.nnin.org/education-training/k-12-teachers/nanotechnology-curriculum-materials/micro-and-macro-worlds>

<https://www.sciencelearn.org.nz/resources/1675-nanofibres-are-nanoscale-materials>

<https://micro.magnet.fsu.edu/primer/java/electronmicroscopy/magnify1/index.html>

## **Δραστηριότητα 1**

### **Ορατά και άορατα αντικείμενα**

Ο μακρόκοσμος είναι ο κόσμος που μας περιβάλλει, οτιδήποτε βλέπουμε και αγγίζουμε γύρω μας. Ο μικρόκοσμος και ο νανόκοσμος, από την άλλη, αν και μας επηρεάζουν εξίσου, δεν γίνονται το ίδιο εύκολα αντιληπτοί, καθώς τα αντικείμενα που περιλαμβάνουν δεν μπορούν να εντοπιστούν από το γυμνό ανθρώπινο μάτι εξαιτίας του πολύ μικρού μεγέθους τους. Κάτι τέτοιο μπορεί να γίνει εφικτό μόνο με τη χρήση εξειδικευμένων οργάνων παρατήρησης. Για να μπορέσουν, λοιπόν, οι μαθητές να κατανοήσουν τον νανόκοσμο, αρχικά, πρέπει να έχουν αντιληφθεί πως υπάρχουν αντικείμενα που μπορούμε να δούμε με τα μάτια μας και αντικείμενα που δεν μπορούμε να δούμε, με αποτέλεσμα να χρειαζόμαστε εξειδικευμένο εξοπλισμό για την εξέτασή τους.

Η πρώτη δραστηριότητα είναι εισαγωγική και έχει ως στόχο να ενεργοποιήσει τους μαθητές και να τους κινήσει το ενδιαφέρον για αντικείμενα που δεν είναι ορατά από το ανθρώπινο μάτι. Δίνονται, λοιπόν, στους μαθητές διάφορες εικόνες αντικειμένων του μακρόκοσμου και του μικρόκοσμου και του νανόκοσμου. Οι μαθητές αφού τις παρατηρήσουν προσεκτικά, καλούνται να τις κατατάξουν σε δύο κατηγορίες ανάλογα με το ποιες είναι ορατές με γυμνό μάτι και ποιες όχι. Ένα εύκολο συμπέρασμα που μπορούν να διατυπώσουν είναι πως τα αντικείμενα που μπορούμε να δούμε με γυμνό μάτι ανήκουν στον μακρόκοσμο, ενώ για να εξετάσουμε αντικείμενα που δε μπορούμε να δούμε χρειαζόμαστε εξειδικευμένο όργανο παρατήρησης, το μικροσκόπιο.

### **Υλικά**

- Τυπωμένες εικόνες αντικειμένων του μικρόκοσμου και του μακρόκοσμου
- Φύλλο εργασίας
- Ψαλίδι
- Κόλλα stick

### **Οδηγίες δραστηριότητας**

Μοιράζονται στους μαθητές διάφορες εικόνες, κάποιες από τις οποίες περιλαμβάνουν αντικείμενα της μακροκλίμακας, μικροκλίμακας και νανοκλίμακας. Οι μαθητές, αφού παρατηρήσουν τις εικόνες, καλούνται να συμπληρώσουν το φύλλο εργασίας

κατατάσσοντάς τες σε δύο κατηγορίες, σε αυτές που είναι ορατές με γυμνό μάτι και σε αυτές που δεν είναι. Βασικός στόχος είναι να καταλήξουν, μετά από συζήτηση στην ολομέλεια της τάξης, στο συμπέρασμα πως τα αντικείμενα που είναι ορατά με γυμνό μάτι ανήκουν στον μακρόκοσμο, ενώ για τα αντικείμενα που δεν είναι ορατά με γυμνό μάτι χρειαζόμαστε μικροσκόπιο για την παρατήρησή τους.

## **Δραστηριότητα 2**

### **Μακρόκοσμος, μικρόκοσμος, νανόκοσμος-Όργανα παρατήρησης**

Η συγκεκριμένη δραστηριότητα αποτελεί άμεση συνέχεια της προηγούμενης. Οι μαθητές, ήδη από την πρώτη δραστηριότητα έχουν διατυπώσει το συμπέρασμα πως υπάρχουν υλικά τα οποία είναι ορατά με γυμνό μάτι και υλικά τα οποία δεν μπορούν να γίνουν αντιληπτά χωρίς τη χρήση εξειδικευμένου εξοπλισμού. Οι μαθητές επιδιώκεται να κατανοήσουν πως για τη διερεύνηση αντικειμένων τα οποία δεν είναι ορατά με γυμνό μάτι χρησιμοποιούνται ειδικά εργαλεία, τα μικροσκόπια. Υπάρχουν διαφόρων ειδών μικροσκόπια. Η παρατήρηση του μικρόκοσμου μπορεί να πραγματοποιηθεί με τη χρήση οπτικού μικροσκοπίου, ενώ για την παρατήρηση του νανόκοσμου είναι απαραίτητο το ηλεκτρονικό μικροσκόπιο.

Βασικός σκοπός της συγκεκριμένης δραστηριότητας είναι να κατανοήσουν οι μαθητές, πως για την παρατήρηση αντικειμένων τα οποία είναι αόρατα για το ανθρώπινο μάτι είναι απαραίτητη η χρήση του μικροσκοπίου. Ένα οπτικό μικροσκόπιο χρησιμοποιεί διαφόρων ειδών φακούς με σκοπό να μεγεθύνει τα αντικείμενα, έτσι ώστε αυτά να γίνουν ορατά στον άνθρωπο, παρουσιάζοντας παρόμοιο τρόπο λειτουργίας με αυτόν ενός μεγεθυντικού φακού. Οι μαθητές επιδιώκεται να διαπιστώσουν πως για την παρατήρηση πολύ μικρών αντικειμένων, τα οποία ανήκουν στον νανόκοσμο, είναι απαραίτητη η χρήση ηλεκτρονικού μικροσκοπίου, καθώς το οπτικό μικροσκόπιο αδυνατεί να τα αναγνωρίσει.

### **Υλικά**

- Τυπωμένες εικόνες αντικειμένων του μακρόκοσμου, του μικρόκοσμου και του νανόκοσμου
- Εικόνες του ίδιου αντικειμένου στην μακροκλίμακα, στη μικροκλίμακα και στη νανοκλίμακα

- Φύλλο εργασίας
- Μεγεθυντικός φακός
- Ηλεκτρονικός υπολογιστής και βίντεο προβολέας

### **Οδηγίες δραστηριότητας**

Οι μαθητές, αρχικά, ως διαδικασία αφόρμησης, καλούνται να παρατηρήσουν αντικείμενα του μακρόκοσμου μέσα από το πρίσμα ενός μεγεθυντικού φακού. Τέτοια αντικείμενα μπορεί να είναι η γόμα, η ξύστρα, η μύτη του μολυβιού, μια τρίχα κ.α. Στη συνέχεια, παρουσιάζονται με τον βίντεο προβολέα εικόνες ενός αντικειμένου σε τρεις διαφορετικές εκδοχές: μια εικόνα του αντικειμένου στη μακροκλίμακα, μια εικόνα του στη μικροκλίμακα, μέσα από οπτικό μικροσκόπιο, και μια εικόνα του αντικειμένου στη νανοκλίμακα, μέσα από ηλεκτρονικό μικροσκόπιο. Ακολουθεί συζήτηση αναφορικά με τις τρεις κλίμακες μεγέθους καθώς και για τα όργανα παρατήρησης που απαιτούνται για την εξέτασή τους. Στο τέλος, μοιράζονται στους μαθητές ένα φύλλο εργασίας και διάφορες τυπωμένες εικόνες αντικειμένων από οπτικό και ηλεκτρονικό μικροσκόπιο καθώς και αντικειμένων του μακρόκοσμου και οι μαθητές καλούνται να ανακαλύψουν αν τα αντικείμενα αυτά ανήκουν στον μακρόκοσμο, τον μικρόκοσμο ή τον νανόκοσμο, με βάση το εργαλείο με το οποίο έχουν παρατηρηθεί. Ακολουθεί συζήτηση στην ολομέλεια της τάξης και τελικά, καταλήγουν στο συμπέρασμα πως υλικά τα οποία είναι αόρατα στο ανθρώπινο μάτι μπορεί να ανήκουν, ανάλογα με το μέγεθός τους είτε στον μικρόκοσμο είτε στον νανόκοσμο, καθώς και πως το όργανο παρατήρησης του μικρόκοσμου είναι το οπτικό μικροσκόπιο, ενώ του νανόκοσμου το ηλεκτρονικό μικροσκόπιο.

### **Δραστηριότητα 3**

#### **Μέγεθος και κλίμακα**

Η συγκεκριμένη δραστηριότητα ενδείκνυται να πραγματοποιηθεί εφόσον έχουν ολοκληρωθεί οι προηγούμενες δύο δραστηριότητες και εφόσον έχουν επιτευχθεί οι διδακτικοί τους στόχοι. Έτσι, από της δύο προηγούμενες δραστηριότητες οι μαθητές γνωρίζουν πως τα αντικείμενα τα οποία είναι ορατά με γυμνό μάτι ανήκουν στον μακρόκοσμο, ενώ αυτά που δεν είναι ορατά ανήκουν ανάλογα με το μέγεθός τους στον μικρόκοσμο ή τον νανόκοσμο. Επίσης, τα αντικείμενα του νανόκοσμου μπορούμε να τα παρατηρήσουμε χρησιμοποιώντας την όρασή μας ή κάποιον μεγεθυντικό φακό, τα



αντικείμενα του μικρόκοσμου χρησιμοποιώντας οπτικό μικροσκόπιο και τα αντικείμενα του νανόκοσμου χρησιμοποιώντας το ηλεκτρονικό μικροσκόπιο.

Βασικός στόχος της συγκεκριμένης δραστηριότητας είναι οι μαθητές να αποκτήσουν την ικανότητα να εντοπίζουν σε ποια κλίμακα μεγέθους ανήκει κάθε αντικείμενο, να τοποθετούν τα αντικείμενα σε σειρά ανάλογα με το μέγεθός τους, καθώς και να γνωρίσουν πως μονάδα μέτρησης της μακρομετρικής κλίμακας είναι το μέτρο (m) και οι υποδιαίρεσεις του, της μικρομετρικής κλίμακας το μικρόμετρο (μm) και της νανομετρικής κλίμακας το νανόμετρο (nm).

### Υλικά

- Τυπωμένες φωτογραφίες αντικειμένων του μακρόκοσμου, του μικρόκοσμου και του νανόκοσμου
- Χαρτί του μέτρου
- Μαρκαδόροι
- Χάρακας

### Οδηγίες δραστηριότητας

Δίνονται στους μαθητές διάφορες εικόνες αντικειμένων του μακρόκοσμου, του μικρόκοσμου και του νανόκοσμου. Οι μαθητές καλούνται, αφού εντοπίσουν σε ποιον από του τρεις κόσμους ανήκουν τα αντικείμενα, να τα τοποθετήσουν σε σειρά μεγέθους. Σε χαρτί του μέτρου, το οποίο έχουμε τοιχοκολλήσει, έχουμε σχεδιάσει μια κλίμακα η οποία είναι χωρισμένη σε τρία μέρη: τη νανοκλίμακα (1-100 nm) τη μικροκλίμακα (μm) και τη μακροκλίμακα (cm). Οι μαθητές κολλούν κάθε εικόνα στην κατάλληλη θέση της κλίμακας με σειρά μεγέθους.



**Εικόνα 3.1:** Κλίμακα μεγέθους (νανοκλίμακα, μικροκλίμακα, νανοκλίμακα)

## **Δραστηριότητα 4**

### **Αρωματικά μπαλόνια**

Έχοντας ολοκληρώσει τις τρεις πρώτες δραστηριότητες οι μαθητές έχουν εμπεδώσει πως τα νανοϋλικά, εξαιτίας του εξαιρετικά μικρού μεγέθους τους, είναι αδύνατον να γίνουν ορατά στο γυμνό ανθρώπινο μάτι. Παρ' όλα αυτά, αν και η ανθρώπινη όραση δεν είναι ικανή να αντιληφθεί τον νανόκοσμο και τα νανομεγέθη, υπάρχει ένα πολύ ισχυρό όργανο του ανθρώπινου οργανισμού το οποίο εύκολα αντιλαμβάνεται υλικά νανομεγέθους και δεν είναι άλλο από την όσφρησή μας. Όλες οι οσμές και τα αρώματα ανήκουν στον κόσμο των μορίων και των ατόμων, γεγονός που κάνει αδύνατη την αντίληψή τους με την όραση. Η αίσθηση της όσφρησης, όμως, έχει την ικανότητα να προσδιορίζει το σχήμα των μορίων των οσμών και έτσι αυτά γίνονται αντιληπτά. Τα μόρια του αρώματος είναι τόσο μικροσκοπικά που μετριούνται σε νανόμετρα και ανήκουν στην νανοκλίμακα.

Στην παρακάτω δραστηριότητα, οι μαθητές μπορούν να γνωρίσουν το μέγεθος του νανόμετρου χρησιμοποιώντας μόνο την όσφρησή τους. Τα μόρια των αρωμάτων είναι τόσο μικρά (μέγεθος νάνο), που είναι ικανά να διέρχονται μέσα από τα τοιχώματα ενός φουσκωμένου μπαλονιού και να διαχέονται στο περιβάλλον. Πιο συγκεκριμένα, ο αέρας που βρίσκεται στο εσωτερικό του φουσκωμένου μπαλονιού, ο οποίος έχει αρωματιστεί με τεχνητό τρόπο, περνά μέσα από τους πόρους του μπαλονιού προς το περιβάλλον εκμεταλλευόμενος το νανομέγεθός του. Ο αέρας έχοντας την ιδιότητα να μετακινείται από περιοχές υψηλότερης πίεσης (εσωτερικό μπαλονιού) προς περιοχές χαμηλότερης πίεσης (εξωτερικό περιβάλλον) διέρχεται, εξαιτίας του νανομεγέθους του, από τους πόρους του μπαλονιού προς το περιβάλλον. Αυτή η μετατόπιση του αέρα από το εσωτερικό προς το εξωτερικό του μπαλονιού μπορεί να γίνει αντιληπτή μέσω της όσφρησης, καθώς ο αέρας στο εσωτερικό του μπαλονιού είχε αρωματιστεί.

Βασικός στόχος της δραστηριότητας είναι να κατανοήσουν οι μαθητές πως η όσφρησή μας αποτελεί έναν ισχυρό «νανοαισθητήρα», καθώς έχει την ικανότητα να αναγνωρίζει υλικά νανομεγέθους.

### **Υλικά**

- Χρωματιστά μπαλόνια
- Διαφορετικά εκχυλίσματα αρωμάτων
- Κουταλάκι



**Εικόνα 3.2:** α) Χρωματιστά μπαλόνια και εκχυλίσματα αρωμάτων, β) Διαφορετικό εκχύλισμα αρώματος προστίθεται ανάλογα με το χρώμα του μπαλονιού

### Οδηγίες εκτέλεσης πειράματος

Μοιράζονται στους μαθητές μπαλόνια διαφορετικών χρωμάτων. Πριν φουσκώσουμε τα μπαλόνια, προσθέτουμε σε κάθε μπαλόνι ένα κουταλάκι από ένα από τα εκχυλίσματα αρωμάτων (Εικ. 3.2-β) και σημειώνουμε σε ένα φύλλο χαρτί το χρώμα του μπαλονιού και το αντίστοιχο εκχύλισμα αρώματος που έχουμε τοποθετήσει στο εσωτερικό του, χωρίς να το γνωρίζουν οι μαθητές. Υπολογίζουμε να έχουμε κάνει ίση κατανομή των αρωμάτων στα μπαλόνια. Στη συνέχεια, φουσκώνουμε τα μπαλόνια με την τρόμπα και τα δένουμε καλά. Ανακινούμε τα μπαλόνια μερικές φορές, έτσι ώστε το εκχύλισμα του αρώματος που βρίσκεται στο εσωτερικό των μπαλονιών να εξατμιστεί και να διαχυθεί το άρωμα. Μόλις φουσκώσουμε όλα τα μπαλόνια, τα μοιράζουμε σε κάθε ομάδα, διαδοχικά. Κάθε ομάδα, αφού πρώτα μυρίσει τα μπαλόνια καλείται να αντιστοιχίσει, σε ένα φύλλο εργασίας που τους έχει δοθεί, το χρώμα του μπαλονιού με το άρωμα το οποίο θεωρεί πως έχει τοποθετηθεί μέσα στο μπαλόνι. Οι μαθητές καλούνται, δηλαδή, χρησιμοποιώντας μόνο την όσφρησή τους να εντοπίσουν ποιο εκχύλισμα υπάρχει μέσα σε κάθε μπαλόνι.

Η συγκεκριμένη δραστηριότητα εμπεριέχεται στα εγχειρίδια με δραστηριότητες Νανοτεχνολογίας για παιδιά: DIY nano: Do-it-yourself science activities that investigate the nanoscale (2016, pp. 20-25) και Nanodays collection: A compendium of nanodays activities and resources from the nanoscale informal science education network (2016, pp. 43-45)

## **Δραστηριότητα 5**

### **Αρωματικά δοχεία/Αραίωση**

Όπως διαπιστώσαμε και στην προηγούμενη δραστηριότητα η αίσθηση της όσφρησης είναι πιο ικανή από την όραση στο να αναγνωρίζει σωματίδια πολύ μικρού μεγέθους. Εκεί, λοιπόν, που η όρασή μας δεν είναι ικανή πλέον να αντιληφθεί την ύπαρξη σωματιδίων υπερβολικά μικρού μεγέθους, η όσφρησή μας συνεχίζει να τα αντιλαμβάνεται, καθώς αποτελεί ένα αισθητήριο όργανο με εξαιρετική ικανότητα αναγνώρισης σωματιδίων νανομεγέθους.

Στο παρακάτω πείραμα (Hayes, 2010), οι μαθητές μπορούν να διαπιστώσουν πως αραιώνοντας ένα υγρό, το οποίο έχει χρωματιστεί και αρωματιστεί με τεχνητό τρόπο, πρώτα εξασθενεί το χρώμα και στη συνέχεια το άρωμα. Το γεγονός αυτό αποδεικνύει πως η χρωστική/αρωματική ουσία που προστέθηκε στο διάλυμα εξακολουθεί να υπάρχει, ακόμα και όταν έχει αραιωθεί τόσο πολύ που δε φαίνεται με γυμνό μάτι. Παρά το γεγονός ότι η ουσία δεν είναι πλέον ορατή, μπορούμε εύκολα να διαπιστώσουμε την ύπαρξή της μυρίζοντάς την. Έτσι, οι μαθητές μπορούν να συνειδητοποιήσουν ότι, ακόμη και αν και δεν μπορούν να δουν τα νανοσωματίδια εξαιτίας του εξαιρετικά μικρού μεγέθους τους, αυτά υπάρχουν και ένας εύκολος τρόπος να το αναγνωρίσουν είναι μυρίζοντάς τα, καθώς οι αισθητήριοι υποδοχείς της μύτης έχουν την ικανότητα να αναγνωρίζουν υλικά νανομεγέθους. Η όσφρηση μας, λοιπόν, αποτελεί έναν εξαιρετικό «νανοαισθητήρα».

Κύριος στόχος του πειράματος είναι να αντιληφθούν οι μαθητές το εξαιρετικά μικρό μέγεθος των νανοσωματιδίων ( $1 \text{ nm} = 0,000000001 \text{ m}$ ) το οποίο τα κάνει αόρατα στο γυμνό ανθρώπινο μάτι, καθώς και πως η όσφρησή μας αποτελεί έναν εξαιρετικό νανοαισθητήρα.

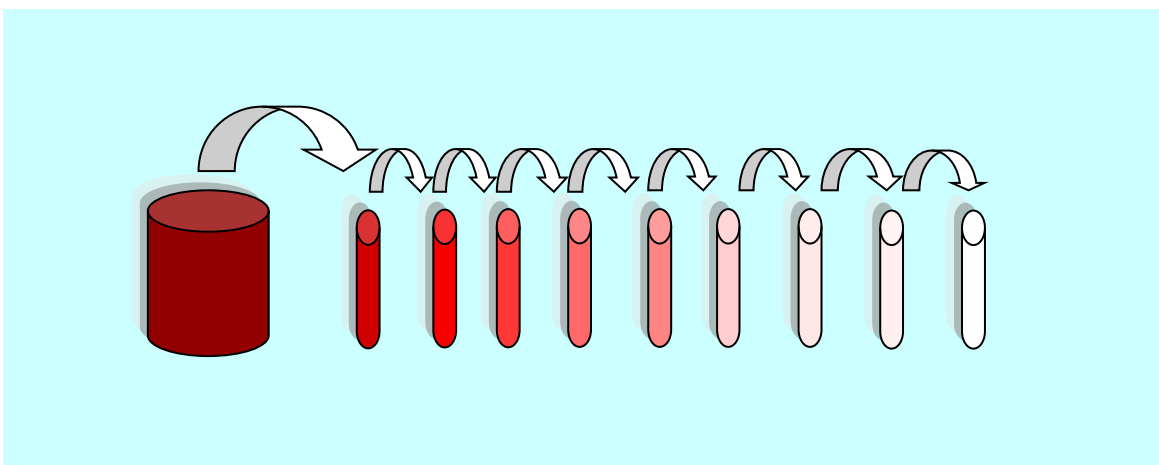
### **Υλικά**

- Χρωστική ουσία τροφίμων με έντονο άρωμα (αρωματισμένο χρώμα ζαχαροπλαστικής)
- 9 δοκιμαστικοί σωλήνες
- Πλαστική πιπέτα
- Νερό

### Οδηγίες εκτέλεσης πειράματος

Τοποθετούμε τους εννέα δοκιμαστικούς σωλήνες πάνω στον πάγκο, τον έναν δίπλα στον άλλον, δημιουργώντας μια σειρά και προσθέτουμε σε κάθε δοκιμαστικό σωλήνα 9 ml καθαρό νερό. Στη συνέχεια, στον πρώτο δοκιμαστικό σωλήνα, χρησιμοποιώντας την πλαστική πιπέτα, προσθέτουμε ακριβώς 1 ml από την αρωματισμένη χρωστική ουσία. Ανακατεύουμε ελαφρώς το διάλυμα, παρατηρούμε το χρώμα και μυρίζουμε το άρωμα που αναδύεται. Έπειτα, παίρνουμε με την πιπέτα 1 ml από το διάλυμα που δημιουργήσαμε στον πρώτο δοκιμαστικού σωλήνα και το προσθέτουμε στον δεύτερο δοκιμαστικό σωλήνα. Ανακατεύουμε ελαφρώς, παρατηρούμε το χρώμα του διαλύματος στον δεύτερο δοκιμαστικό σωλήνα και μυρίζουμε το άρωμα. Καλούμε τους μαθητές να εκφράσουν την άποψή τους σχετικά με την ένταση του χρώματος και του αρώματος στον δεύτερο δοκιμαστικό σωλήνα συγκριτικά με το διάλυμα του πρώτου σωλήνα. Συνεχίζουμε την ίδια διαδικασία μέχρι και τον ένατο δοκιμαστικό σωλήνα.

Στο τέλος του πειράματος οι μαθητές θα έχουν διαπιστώσει πως η ένταση του χρώματος και του αρώματος εξασθενεί, από τον ένα δοκιμαστικό σωλήνα στον επόμενο. Θα παρατηρήσουν όμως, πως το χρώμα εξασθενεί πολύ πιο γρήγορα σε σχέση με το άρωμα, καθώς από τον 4<sup>ο</sup> -5<sup>ο</sup> δοκιμαστικό σωλήνα το χρώμα δε θα είναι εμφανές πια. Το άρωμα, παρ' όλα αυτά, εξακολουθούν να το μυρίζουν μέχρι και τον τελευταίο σωλήνα, αν και εξασθενημένο, γεγονός που αποδεικνύει πως η χρωστική ουσία είναι ακόμη εκεί, ακόμη και στο 0,000000001 του ml.



**Εικόνα 3.3:** Το χρώμα εξασθενεί από τον ένα δοκιμαστικό σωλήνα στον επόμενο.

## **B. Ιδιότητες νανοϋλικών**

Τα υλικά στη νανοκλίμακα παρουσιάζουν πολύ διαφορετικές ιδιότητες σε σχέση με τα αντίστοιχα υλικά που βρίσκονται σε μεγαλύτερη κλίμακα μεγέθους. Στις δραστηριότητες αυτής της ενότητας οι μαθητές θα γνωρίσουν ιδιότητες που παρουσιάζουν κάποια υλικά στη νανοκλίμακα, οι οποίες μπορούν να φανούν χρήσιμες σε διάφορες εφαρμογές.

### **Δραστηριότητα 6**

#### **Φαινόμενο του λωτού/ υπερευδροφοβικότητα**

Ορισμένα υλικά που υπάρχουν στη φύση διαθέτουν την ιδιότητα της υπερευδροφοβικότητας, δηλαδή την ικανότητα να απωθούν το νερό διατηρώντας με αυτόν το τρόπο την επιφάνειά τους καθαρή. Η ιδιότητα αυτή οφείλεται σε δομές νανομεγέθους, οι οποίες υπάρχουν στην επιφάνεια των υλικών και τους προσδίδουν αυτή την ικανότητα. Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελούν τα φύλλα του άνθους του λωτού, τα οποία εξαιτίας νανοδομών που υπάρχουν στην επιφάνεια τους έχουν την ικανότητα να απωθούν το νερό. Το νερό καθώς απομακρύνεται συμπαρασύρει ακαθαρσίες που μπορεί να υπάρχουν στην επιφάνεια των φύλλων και έτσι τα φύλλα αυτοκαθαρίζονται. Το φαινόμενο αυτό παρατηρείται στη φύση και σε άλλες περιπτώσεις, όπως για παράδειγμα σε φυτά όπως το μπρόκολο και το κουνουπίδι και στα φτερά των εντόμων. Η ιδιότητα αυτή της υπερευδροφοβικότητας, η οποία είναι αποτέλεσμα νανοδομών, βρίσκει εφαρμογή σε πολλά εμπορικά προϊόντα τα οποία διατίθενται στην αγορά. Αφορά, κυρίως, προϊόντα επικαλύψεων τα οποία όταν εφαρμοστούν σε διάφορες επιφάνειες τις καθιστούν υπερευδροφικές.

Στο συγκεκριμένο πείραμα θα χρησιμοποιηθούν φύλλα λάχανου και μπρόκολου, τα οποία παρουσιάζουν υπερευδροφοβική επιφάνεια, μιμούμενα το «φαινόμενο του λωτού» και φύλλα μαρουλιού, τα οποία δεν παρουσιάζουν αυτή την ιδιότητα. Στην επιφάνεια του λάχανου και των φύλλων του μπρόκολου υπάρχουν «νανοεξογκώματα», τα οποία εξαιτίας του εξαιρετικά μικρού μεγέθους τους δεν επιτρέπουν στις σταγόνες να περάσουν ανάμεσά τους κάνοντάς τες να φαίνονται σαν να αιωρούνται. Έτσι, το νερό όταν πέφτει στην επιφάνειά τους, απομακρύνεται συμπαρασύροντας τις ακαθαρσίες και διατηρώντας τα φύλλα καθαρά. Οι νανοδομές αυτές προσδίδουν στο λάχανο την ιδιότητα της υδροφοβικότητας και του αυτοκαθαρισμού.

Βασικός στόχος του πειράματος είναι να γνωρίσουν οι μαθητές το φαινόμενο της υπερυδροφοβικότητας που παρατηρείται στη φύση και να κατανοήσουν πως το φαινόμενο αυτό οφείλεται σε δομές νανομεγέθους, οι οποίες βρίσκονται στην επιφάνεια των φύλλων των φυτών και δεν είναι ορατές με γυμνό μάτι.



**Εικόνα 3. 4:** Το νερό σχηματίζει σφαιρίδια στην επιφάνεια του λάχανου και των φύλλων του μπρόκολου.

### Υλικά

- Πλαστική πιπέτα
- Πλαστικό ποτήρι με νερό
- Φύλλα κουνουπιδιού
- Φύλλα λάχανου
- Φύλλα μαρουλιού

### Οδηγίες εκτέλεσης πειράματος

Τοποθετούμε στον πάγκο ένα φύλλο μαρουλιού, ένα φύλλο λάχανου και ένα φύλλο μπρόκολου. Με την πιπέτα ρίχνουμε μερικές σταγόνες νερού, διαδοχικά, στο φύλλο του μαρουλιού, στο φύλλο του λάχανου και τέλος στο φύλλο του μπρόκολου. Παρατηρούμε πως καθώς ρίχνουμε μερικές σταγόνες νερού στην επιφάνεια του φύλλου του μαρουλιού, οι σταγόνες απλώνονται πάνω στο φύλλο. Αντίθετα, όταν ρίχνουμε με την πιπέτα σταγόνες νερού στα φύλλα του λάχανου και του μπρόκολου, οι σταγόνες γίνονται σφαιρικές σαν μπίλιες (Εικ. 3.4) και κυλάνε πάνω στο φύλλο. Αυτό συμβαίνει γιατί η επιφάνεια των φύλλων του λάχανου και του μπρόκολου, μιμούμενη τη επιφάνεια των φύλλων του λωτού, παρουσιάζει δομές νανομεγέθους, οι οποίες την καθιστούν υπερυδροφοβική. Έτσι, το νερό όταν πέφτει στην επιφάνειά τους σφαιροποιείται και απομακρύνεται κυλώντας πάνω στην επιφάνεια.

Το παραπάνω πείραμα εμπεριέχεται στο βίντεο με τίτλο «Florinano» και είναι διαθέσιμο στο [https://www.youtube.com/watch?v=LU3g07U0ccE&feature=emb\\_logo](https://www.youtube.com/watch?v=LU3g07U0ccE&feature=emb_logo).

## **Δραστηριότητα 7**

### **Γραφίτης – Ηλεκτρική αγωγιμότητα**

Η μύτη των μολυβιών είναι φτιαγμένη από γραφίτη. Ο γραφίτης είναι υλικό το οποίο αποτελείται από πολλά στρώματα διατεταγμένων ατόμων άνθρακα τα οποία είναι στοιβαγμένα το ένα πάνω στο άλλο. Ένα μονό στρώμα διατεταγμένων ατόμων άνθρακα αποτελεί το γραφένιο, το οποίο είναι το λεπτότερο υλικό στον πλανήτη. Το γραφένιο είναι ένα νανοϋλικό, το οποίο παρουσιάζει εξαιρετικές ιδιότητες όπως υψηλή ανθεκτικότητα, ευκαμψία και υψηλή ηλεκτρική αγωγιμότητα (Novoselov, et al., 2004). Οι ιδιότητες αυτές του γραφενίου το καθιστούν ένα από τα βασικά νανοϋλικά που χρησιμοποιούνται κυρίως στον τομέα των τυπωμένων ηλεκτρονικών (Aleeva & Pignataro, 2014 ; Belessi V. , et al., 2019 ; Koutsioukis, Georgakilas, Belessi, & Zboril, 2017; Ng, et al., 2019).

Στα δύο πειράματα που ακολουθούν επικεντρώνονται στην ηλεκτρική αγωγιμότητα του γραφίτη, η οποία σήμερα βρίσκει πολλές εμπορικές χρήσεις. Στο πρώτο πείραμα, οι μαθητές επιδιώκεται να διαπιστώσουν πως ο γραφίτης αποτελεί αγωγό του ηλεκτρισμού, καθώς όταν συνδέεται μέσω καλωδίων με μια ηλεκτρική πηγή και ένα λαμπτήρα, ο λαμπτήρας ανάβει. Στο δεύτερο πείραμα, οι μαθητές καλούνται να ζωγραφίσουν σε χαρτί με ένα μαλακό μολύβι, το οποίο έχει υψηλή περιεκτικότητα σε γραφίτη, ένα δικό τους ηλεκτρονικό κύκλωμα, το οποίο συνδέοντάς το με μια ηλεκτρική πηγή και έναν λαμπτήρα θα διαπιστώσουν πως διαπερνάται από ηλεκτρικό ρεύμα. Επιδιώκεται έτσι, να αποκτήσουν εικόνα, με βιωματικό τρόπο, για το πώς δημιουργείται ένα τυπωμένο ηλεκτρονικό κύκλωμα.

Βασικός σκοπός και των δύο πειραμάτων είναι οι μαθητές να διαπιστώσουν την ηλεκτρική αγωγιμότητα του γραφίτη, του οποίου βασικό δομικό υλικό είναι το γραφένιο. Με το δεύτερο πείραμα οι μαθητές επιδιώκεται, να σχηματίσουν μια εικόνα σχετικά με το πώς λειτουργούν τα τυπωμένα ηλεκτρονικά κυκλώματα, δημιουργώντας το δικό τους κύκλωμα.

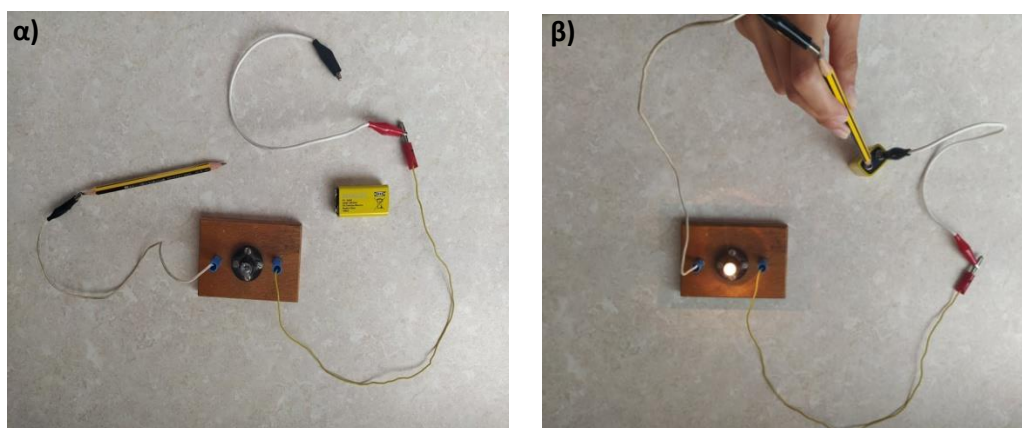
### **A) Γραφίτης/Αγωγός του ηλεκτρισμού**

#### **Υλικά**

- Μπαταρία πλακέ



- 1 μολύβι ξυσμένο και από τις δύο άκρες
- Λαμπάκι με βάση
- Καλώδια σύνδεσης



**Εικόνα 3. 5:** α) Σύνδεση υλικών πειράματος, β) Ενώνοντας τη μύτη του μολυβιού με την ηλεκτρική πηγή το λαμπάκι φωτοβολεί.

### Οδηγίες εκτέλεσης πειράματος

Συνδέουμε δύο καλώδια με το λαμπάκι (Εικ. 3.5-α). Την άκρη του ενός καλωδίου την ενώνουμε με τη μία από τις μύτες του μολυβιού (Εικ. 3.5-α), ενώ την άκρη του άλλου καλωδίου τη συνδέουμε τον έναν πόλο της μπαταρίας. Στη συνέχεια, ενώνουμε την ελεύθερη μύτη του μολυβιού με τον άλλο πόλο της μπαταρίας έτσι ώστε να δημιουργήσουμε ένα κλειστό ηλεκτρικό κύκλωμα. Παρατηρούμε πως το λαμπάκι φωτοβολεί (Εικ. 3.5-β).

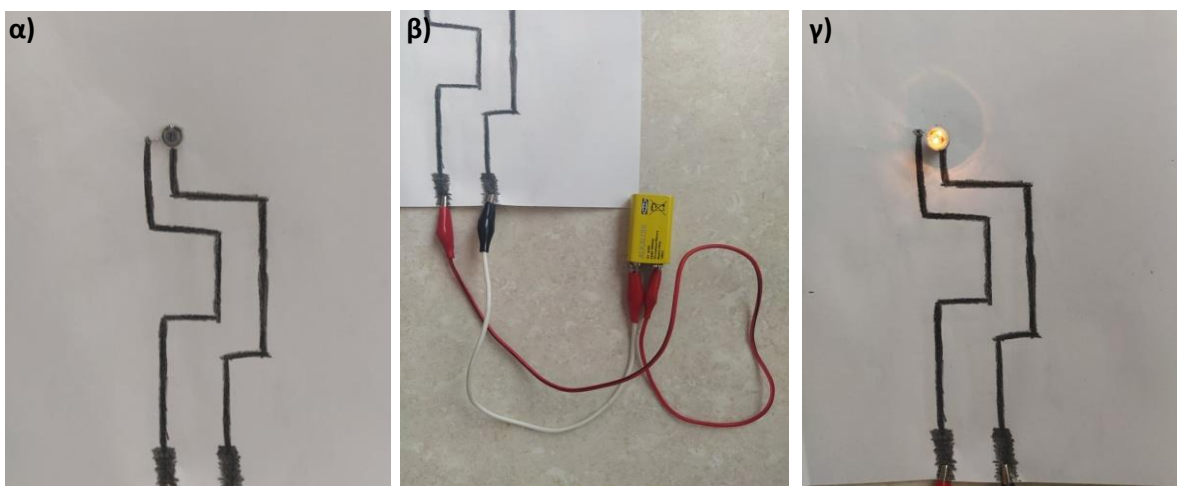
Διαπιστώνουμε, λοιπόν, πως ο γραφίτης χαρακτηρίζεται από πολύ υψηλή ηλεκτρική αγωγιμότητα. Έτσι, συνδέοντας τη μύτη του μολυβιού με μία ηλεκτρική πηγή και ένα λαμπάκι, δημιουργούμε ένα κλειστό ηλεκτρικό κύκλωμα στο οποίο η ηλεκτρική ενέργεια της μπαταρίας διαπερνά εύκολα τον γραφίτη και έτσι το λαμπάκι ανάβει.

### Β) Ζωγραφίζοντας ένα ηλεκτρικό κύκλωμα

#### Υλικά:

- Μαλακό μολύβι ζωγραφικής
- Φύλλο χαρτί A4
- Μικρό λαμπάκι

- Σύρμα χαλκού
- Μπαταρία 9V
- Δύο καλώδια crocodile



**Εικόνα 3. 6:** α) Σύνδεση του λαμπτήρα με το «τυπωμένο» κύκλωμα , β) Σύνδεση του κυκλώματος με την ηλεκτρική πηγή, γ) Το λαμπάκι φωτοβολεί.

### Οδηγίες εκτέλεσης πειράματος

Σε ένα φύλλο χαρτί A4, χρησιμοποιώντας μαλακό μολύβι ζωγραφικής, σχεδιάζουμε δύο παχιές γραμμές, σχεδόν παράλληλες μεταξύ τους, οι οποίες ξεκινούν από την άκρη του χαρτιού και καταλήγουν στο κέντρο, χωρίς όμως να ενώνονται. Στα δύο άκρα των παράλληλων γραμμών που βρίσκονται στο κέντρο του χαρτιού, ενώνουμε τον λαμπτήρα, τον οποίο έχουμε τυλίξει με λεπτό χάλκινο σύρμα, με τέτοιο τρόπο, ώστε η βάση του λαμπτήρα να έρχεται σε επαφή με τη μία από τις γραμμές που έχουμε σχεδιάσει, ενώ το σύρμα με το οποίο είναι τυλιγμένος να έρχεται σε επαφή με την άλλη γραμμή. (Εικ. 3.6-α). Ενώνουμε τα δύο άκρα των γραμμών που βρίσκονται στην άκρη του χαρτιού με την ηλεκτρική πηγή χρησιμοποιώντας τα καλώδια crocodile (Εικ. 3.6-β). Παρατηρούμε, τότε πως ο λαμπτήρας φωτοβολεί. Δημιουργήσαμε, έτσι, ένα κλειστό ηλεκτρικό κύκλωμα χρησιμοποιώντας τον γραφίτη ως αγώγιμο υλικό, χωρίς την ύπαρξη μεταλλικών καλωδίων. Με ανάλογο τρόπο λειτουργούν τα τυπωμένα κυκλώματα υπολογιστών τα οποία εκμεταλλεύονται τις ιδιότητες των νανοϋλικών.

Πηγή για το συγκεκριμένο πείραμα αποτέλεσε το βίντεο «Paper Circuit!» το οποίο είναι διαθέσιμο στο <https://www.youtube.com/watch?v=BwKQ9Idq9FM> .

## **Δραστηριότητα 8**

### **Ferrofluids (σιδηρορευστά)**

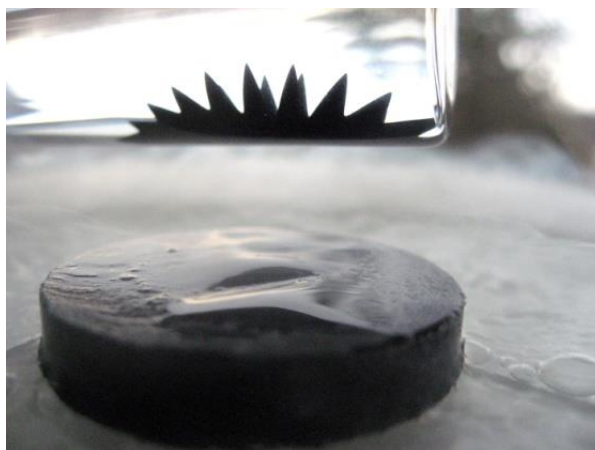
Τα ferrofluids είναι τα μόνα μαγνητικά υλικά σε υγρή μορφή (Mallmann, 2008). Αποτελούνται από νανοσωματίδια οξειδίου του σιδήρου τα οποία επιτρέπουν στο υλικό, παρόλο που βρίσκεται σε υγρή μορφή να έχει μαγνητικές ιδιότητες. Τα ferrofluids έχουν την ιδιότητα, εξαιτίας του μεγέθους των νανοσωματιδίων, να δρουν είτε σαν υγρό είτε σαν στερεό. Όταν δεν υπάρχει μαγνήτης κοντά, το ferrofluid λειτουργεί σαν υγρό. Αντίθετα, όταν έρθει σε επαφή με έναν μαγνήτη, τα νανοσωματίδια, καθώς μαγνητίζονται, σχηματίζουν δομές οι οποίες το κάνουν να μοιάζει με στερεό. Όταν ο μαγνήτης απομακρυνθεί, τα νανοσωματίδια σιδήρου απομαγνητίζονται και αποκτά πάλι υγρή μορφή (Belessi, et al., 2008 ; Nanodays collection: A compendium of nanodays activities and resources from the nanoscale informal science education network, 2016).

Έχουμε αναφέρει πως κάποια υλικά παρουσιάζουν διαφορετικές ιδιότητες όταν βρίσκονται στη νανοκλίμακα. Έτσι, στα ferrofluids, τα νανοσωματίδια μαγνητική παρουσιάζουν μαγνητικές ιδιότητες μόνο όταν έρχονται σε επαφή με κάποιο μαγνήτη. Αντίθετα, στη μακροσκοπική κλίμακα, ο μαγνητίτης είναι μόνιμα μαγνητικός. Τα ferrofluids βρίσκουν πολλές εφαρμογές, κυρίως στην κατασκευή μαγνητικών μελανιών και τις εκτυπώσεις χαρτονομισμάτων (Μπέλεση, 2014), στους σκληρούς δίσκους των υπολογιστών, στην κατασκευή ηχείων αλλά και στον τομέα της ιατρικής όπως για παράδειγμα στη Μαγνητική Τομογραφία (MRI) (Nanodays collection: A compendium of nanodays activities and resources from the nanoscale informal science education network, 2016).

Στο παρακάτω πείραμα (Mallmann, 2008), οι μαθητές θα γνωρίσουν ένα υλικό, το οποίο παρά το γεγονός ότι είναι υγρό, μόλις έρθει σε επαφή με έναν μαγνήτη αποκτά μαγνητικές ιδιότητες δρώντας σαν στερεό, ενώ μόλις ο μαγνήτης απομακρύνεται δρα πάλι σαν υγρό. Βασικός σκοπός είναι να κατανοήσουν οι μαθητές πως η ιδιότητα αυτή οφείλεται στο μέγεθος νανοκλίμακας των σωματιδίων, καθώς και πως τα υλικά μπορεί να παρουσιάζουν διαφορετικές ιδιότητες και να συμπεριφέρονται διαφορετικά όταν βρίσκονται στη νανοκλίμακα.

### **Υλικά**

- Φιαλίδιο με ferrofluid
- Ισχυρός μαγνήτης



**Εικόνα 3.7:** Σχηματισμός Ferrofluid όταν έρχεται σε επαφή με μαγνήτη. Πηγή:

[https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Superconductor\\_vortex\\_effect\\_on\\_a\\_ferrofluid.jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Superconductor_vortex_effect_on_a_ferrofluid.jpg)

### **Οδηγίες εκτέλεσης πειράματος**

Πλησιάζουμε τον μαγνήτη στο φιαλίδιο με το ferrofluid. Παρατηρούμε πως το υγρό έλκεται από τον μαγνήτη σχηματίζοντας έναν σχηματισμό που μοιάζει με στερεό, παρόμοιο με αυτόν που δημιουργείται όταν πλησιάζουμε μαγνήτη σε ρινίσματα σιδήρου. Μόλις απομακρύνουμε τον μαγνήτη, το ferrofluid αποκτά πάλι την υγρή του μορφή.

### **Δραστηριότητα 9**

#### **Αόρατο αντηλιακό**

Έχουμε αναφέρει πολλές φορές πως τα διάφορα υλικά σώματα φέρονται με τελείως διαφορετικό τρόπο όταν βρίσκονται στη νανοκλίμακα σε σχέση με τα αντίστοιχα υλικά σε μεγαλύτερη κλίμακα μεγέθους. Τα νανοσωματίδια διαφόρων υλικών παρουσιάζουν ξεχωριστές ιδιότητες, οι οποίες τους δίνουν ιδιαίτερες δυνατότητες και τα κάνουν ξεχωριστά. Η Νανοτεχνολογία εκμεταλλεύεται αυτή τη διαφορετική συμπεριφορά των υλικών στη νανοκλίμακα κατασκευάζοντας νέα προϊόντα τα οποία παρουσιάζουν ξεχωριστές ιδιότητες.

Στο παρακάτω πείραμα, συγκρίνοντας μια κρέμα σώματος για βρέφη, η οποία περιέχει οξειδίο του ψευδαργύρου (zinc oxide) με μια αντηλιακή κρέμα η οποία περιέχει νανοσωματίδια οξειδίου του ψευδαργύρου, θα δοθεί στους μαθητές η δυνατότητα να κατανοήσουν, πως το διαφανές χρώμα της αντηλιακής κρέμας σε σχέση με το λευκό χρώμα της κρέμας σώματος, καθώς και το γεγονός πως η αντηλιακή κρέμα έχει πιο λεία

υφή, οφείλονται στα νανοσωματίδια οξειδίου του ψευδαργύρου που εμπεριέχονται στην αντηλιακή κρέμα. Το αντηλιακό έχει διαφανές χρώμα καθώς τα νανοσωματίδια οξειδίου του ψευδαργύρου που εμπεριέχει είναι μικρότερα από το μήκος κύματος του ορατού φωτός (Nanodays collection: A compendium of nanodays activities and resources from the nanoscale informal science education network, 2016). Έτσι, τα νανοσωματίδια δεν αντανακλούν το ορατό φως καθιστώντας το αντηλιακό αόρατο στο γυμνό μάτι. Επίσης, εξαιτίας των νανοσωματιδίων, το αντηλιακό, παρουσιάζει πιο λεία υφή και απλώνεται καλύτερα σε σχέση με την κρέμα σώματος. Η κρέμα σώματος εμπεριέχει, επίσης, οξείδιο του ψευδαργύρου, αλλά σε σωματίδια πολύ μεγαλύτερου μεγέθους. Τα σωματίδια αυτά την κάνουν ορατή στο γυμνό μάτι, σχηματίζοντας μια λευκή ταινία πάνω στο μαύρο χαρτί.

Βασικός στόχος του πειράματος είναι να κατανοήσουν οι μαθητές πως τα υλικά στη νανοκλίμακα παρουσιάζουν διαφορετικές ιδιότητες σε σχέση με τα υλικά σε μεγαλύτερες διαστάσεις. Επίσης, θα έχουν την ευκαιρία να έρθουν σε επαφή με ένα εμπορικό προϊόν που περιέχει νανοσωματίδια με στόχο τη βελτιστοποίησή του και να διαπιστώσουν πως η χρήση νανοσωματιδίων σε προϊόντα όπως τα αντηλιακά, είναι πολύ συχνή (Nanodays collection: A compendium of nanodays activities and resources from the nanoscale informal science education network, 2016).

### **Υλικά**

- Αντηλιακή κρέμα με ενσωματωμένα νανοσωματίδια Zinc oxide
- Κρέμα σώματος με οξείδιο του ψευδαργύρου (Zinc oxide)
- Μπατονέτα
- Μαύρο χαρτόνι canson

### **Οδηγίες εκτέλεσης πειράματος**

Τοποθετούμε το μαύρο χαρτόνι πάνω στον πάγκο. Χρησιμοποιώντας την άκρη μιας μπατονέτας παίρνουμε μικρή ποσότητα από την κρέμα σώματος και την απλώνουμε με κυκλικές κινήσεις πάνω στο μαύρο χαρτόνι. Απλώνοντάς την πάνω στο μαύρο χαρτόνι παρατηρούμε πως έχει μια ελαφρώς τραχιά υφή και λευκό χρώμα. Στη συνέχεια, παίρνουμε με την άλλη άκρη της μπατονέτας μια μικρή ποσότητα από την αντηλιακή κρέμα και την απλώνουμε με τον ίδιο τρόπο στο μαύρο χαρτόνι. Παρατηρούμε πως η

αντηλιακή κρέμα απλώνεται πιο εύκολα, έχοντας πιο λεία υφή σε σχέση με την κρέμα σώματος και, επίσης, παρουσιάζει ένα διαφανές χρώμα, το οποίο την καθιστά αόρατη πάνω στο μαύρο χαρτί.

Η ιδιότητα, λοιπόν, που έχει η αντηλιακή κρέμα να είναι αόρατη, καθώς και η πιο λεία υφή της, οφείλεται στα νανοσωματίδια που περιέχει. Τα νανοσωματίδια που εμπεριέχονται στην αντηλιακή κρέμα, έχοντας μέγεθος μικρότερο από το μήκος κύματος του ορατού φωτός, δεν αντανακλούν την ακτινοβολία του ορατού φωτός, καθιστώντας την αόρατη. Επίσης, εξαιτίας του εξαιρετικά μικρού μεγέθους τους, τα νανοσωματίδια της προσδίδουν λεία υφή. Αντίθετα, τα σωματίδια οξειδίου του ψευδαργύρου μεγαλύτερου μεγέθους, αντανακλούν το ορατό φως και έτσι η κρέμα σώματος παρουσιάζει λευκό χρώμα πάνω στο μαύρο χαρτί, καθώς και μια πιο τραχιά υφή.

Η συγκεκριμένη δραστηριότητα εμπεριέχεται στα εγχειρίδια Nanodays collection: A compendium of nanodays activities and resources from the nanoscale informal science education network (2016, pp. 199-201) και DIY nano: Do-it-yourself science activities that investigate the nanoscale (2016, σσ. 82-85)

## **Δραστηριότητα 10**

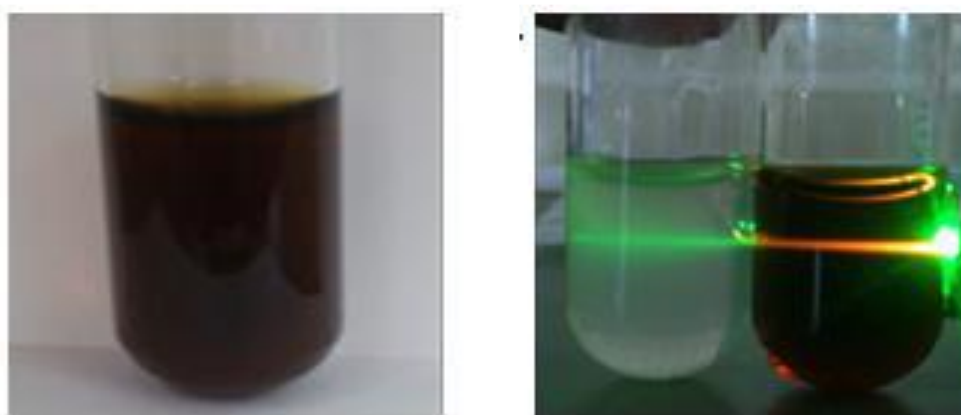
### **Φθορίζον Μελάνι**

Ο φθορισμός είναι ένα εντυπωσιακό φαινόμενο, το οποίο εμφανίζεται όταν ένα αντικείμενο απορροφά ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία σε ένα ορισμένο μήκος κύματος του φάσματος και την εκπέμπει εκ νέου ως ακτινοβολία διαφορετικού, συνήθως μεγαλύτερου, μήκους κύματος. Αυτό συμβαίνει συνήθως με τη χρήση φωτός υπεριώδους ακτινοβολίας UV. Πολλά υλικά σώματα έχουν την ικανότητα να απορροφούν το υπεριώδες φως και να εκπέμπουν ορατό φως διαφόρων χρωμάτων (MacCormac, O'Brien, & O'Kennedy, 2010).

Το φαινόμενο του φθορισμού χρησιμοποιείται σε διάφορες εφαρμογές, μια από τις οποίες είναι τα φθορίζοντα μελάνια. Όταν αναφερόμαστε σε φθορίζοντα μελάνια, αναφερόμαστε σε μελάνια τα οποία γίνονται ορατά μετά από έκθεσή τους σε υπεριώδη ακτινοβολία (UV) ή μελάνια τα οποία ενώ παρουσιάζουν ένα συγκεκριμένο χρώμα, μόλις εκτεθούν σε ακτινοβολία UV «φθορίζουν» σε διαφορετικό χρώμα, συνήθως πράσινο (Koutsoukis, Belessi, & Georgakilas, 2019). Το φθορίζον μελάνι παρασκευάζεται μέσα από τη δημιουργία σφαιρικών νανοσωματιδίων άνθρακα, τελειών άνθρακα (C-dots), οι

οποίες έχουν μέγεθος μικρότερο από 10 nm (Μουσελίμης & Μπουρλίνο, 2018). Οι τελείες άνθρακα παρουσιάζουν χαρακτηριστικές ιδιότητες, μία από τις οποίες είναι η ισχυρή φωτοφωταύγεια. Η παρασκευή C-dots είναι μια σχετικά εύκολη διαδικασία, η οποία μπορεί να πραγματοποιηθεί με διάφορους τρόπους, γεγονός το οποίο έχει βοηθήσει στην αύξηση του ενδιαφέροντος του επιστημονικού κόσμου ως προς τη χρήση τους σε διάφορους τομείς. Τελείες άνθρακα μπορούν να δημιουργηθούν με έκθεση σε μικροκύματα, θερμική πυρόλυση και ηλεκτροχημική οξείδωση (Koutsoukis, Belessi, & Georgakilas, 2019) και η χρήση τους συνήθως γίνεται σε βιοαισθητήρες και ανιχνευτές φθορισμού, στην κατασκευή συσκευών απεικόνισης και εκπομπής φωτός, καθώς και για περιβαλλοντικούς σκοπούς.

Η δημιουργία C-dots, λοιπόν, λόγω της εξαιρετικής φωτοφωταύγειάς τους και της εύκολης διασποράς τους στο νερό, φαίνεται εξαιρετικά χρήσιμη στην κατασκευή φθορίζοντων μελανιών, τα οποία μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε διάφορες εφαρμογές εκτύπωσης, όπως για παράδειγμα σε έντυπα ηλεκτρονικά κυκλώματα. Ο πιο συνηθισμένος τρόπος παρασκευής φθορίζοντων μελανιών είναι διασπείροντας C-dots σε νερό και αναμιγνύοντάς τα με ειδικές ρητίνες. Στο συγκεκριμένο πείραμα (Μουσελίμης & Μπουρλίνο, 2018) θα κατασκευάσουμε φθορίζον μελάνι από απλά υλικά μαγειρικής, δημιουργώντας C-dots χρησιμοποιώντας έναν φούρνο μικροκυμάτων. Βασικός σκοπός είναι να κατανοήσουν οι μαθητές πως ο φθορισμός είναι ένα φαινόμενο που οφείλεται σε ιδιότητες των υλικών στη νανοκλίμακα και πως ένα φθορίζον μελάνι οφείλει το ιδιαίτερο χρώμα του σε φαινόμενα νανοκλίμακας.



**Εικόνα 3. 8:** α) Διάλυμα κιτρικού οξέος με αμμωνία, β) Φθορισμός.  
Πηγή: Μουσελίμης & Μπουρλίνο (2018, σ. 227)

## **Υλικά**

- Γυάλινος δοκιμαστικός σωλήνας
- Νερό
- Μαγειρική σκόνη κιτρικού οξέος
- Φαρμακευτική αμμωνία (στερεή)
- Φούρνος μικροκυμάτων
- Συρμάτινη σήτα
- Φακός ακτινοβολίας UV

## **Οδηγίες εκτέλεσης πειράματος**

Τοποθετούμε τον γυάλινο δοκιμαστικό σωλήνα πάνω στον πάγκο. Ρίχνουμε 15 ml νερό και στη συνέχεια προσθέτουμε 2,2 γρ. σκόνη κιτρικού οξέος και ίση ποσότητα αμμωνίας και ανακατεύουμε το διάλυμα (Εικ 3.8-α). Στη συνέχεια, τοποθετούμε το διάλυμα στον φούρνο μικροκυμάτων στα 700W για 5 λεπτά, δημιουργώντας έτσι ένα ανθρακοποιημένο στερεό. Στο στερεό που δημιουργήσαμε προσθέτουμε 25 ml νερό και ανακατεύουμε. Ρίχνουμε το διάλυμά μας σε ένα άλλο γυάλινο δοχείο φιλτράροντάς το μέσα από συρμάτινη σήτα. Φωτοβολούμε με τον φακό ακτινοβολίας UV και παρατηρούμε τον φθορισμό, καθώς εκπέμπεται από το διάλυμα το χαρακτηριστικό πράσινο χρώμα (Εικ. 3.8-β).

## **Δραστηριότητα 11**

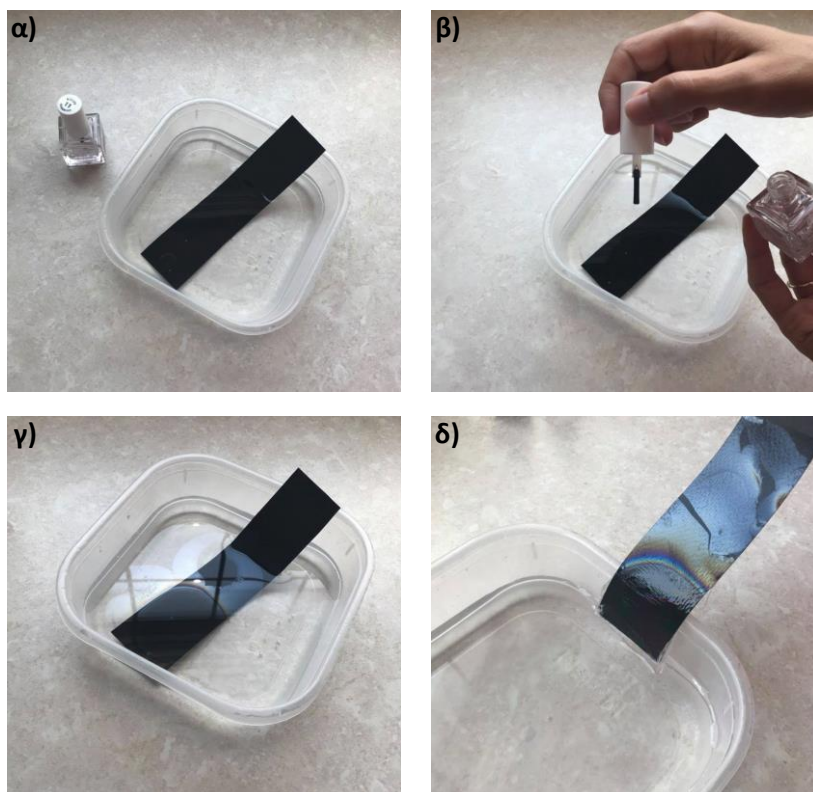
### **Πολύχρωμα φιλμ**

Ο τρόπος με τον οποίο ένα υλικό αντανακλά το φως εξαρτάται από το μέγεθός του. Έχουμε αναφέρει πολλές φορές πως ένα σώμα συμπεριφέρεται τελείως διαφορετικά όταν βρίσκεται στη νανοκλίμακα σε σχέση με κλίμακες μεγαλύτερου μεγέθους.

Στο συγκεκριμένο πείραμα θα δημιουργήσουμε ένα εξαιρετικά λεπτό φιλμ στην επιφάνεια ενός μαύρου χαρτονιού, το οποίο έχει την ικανότητα να αντανακλά το ορατό φως με ιριδίζον τρόπο. Τα λεπτά φιλμ αντανακλούν το ορατό φως με ξεχωριστούς τρόπους εξαιτίας του πολύ μικρού πάχους τους, το οποίο είναι μερικές εκατοντάδες νανόμετρα και βρίσκεται περίπου στο ίδιο μήκος κύματος με το ορατό φως. Το πάχος του φιλμ που δημιουργείται στην επιφάνεια του χαρτονιού παρουσιάζει αυξομειώσεις



κατά μήκος του, καθιστώντας το φιλμ σε άλλα σημεία πιο λεπτό ενώ σε άλλα πιο παχύ. Το γεγονός αυτό κάνει το φιλμ να αντανακλά με διαφορετικό τρόπο το φως στα διάφορα σημεία του, ανάλογα με το πόσο παχύ ή λεπτό είναι. Το αποτέλεσμα είναι να αποτυπώνονται στο φιλμ διαφορετικά ιριδίζοντα χρώματα, με παρόμοιο τρόπο όπως στο ουράνιο τόξο.



**Εικόνα 3. 9:** α) Τοποθετούμε τη χάρτινη λωρίδα μέσα στο νερό, β) Στάζουμε μια σταγόνα βερνίκι, γ) Το βερνίκι απλώνεται πάνω στο νερό, δ) Ιριδίζοντα χρώματα εμφανίζονται πάνω στην ταινία.

Στόχος του πειράματος είναι να κατανοήσουν οι μαθητές πως τα διάφορα υλικά συμπεριφέρονται διαφορετικά όταν βρίσκονται στη νανοκλίμακα και πως ο τρόπος που συμπεριφέρονται στη μακροκλίμακα επηρεάζεται από τη δομή του στη νανοκλίμακα.

### Υλικά

- Ρηχό μαγειρικό σκεύος
- Νερό
- Βερνίκι νυχιών (διαφανές)
- Ψαλίδι
- Μαύρο χαρτόνι canson

## **Οδηγίες εκτέλεσης πειράματος**

Χρησιμοποιώντας το ψαλίδι κόβουμε από το χαρτόνι μια λεπτή μαύρη λωρίδα. Τοποθετούμε το μαγειρικό σκεύος πάνω στον πάγκο και το γεμίζουμε με νερό, μέχρι τη μέση περίπου. Στη συνέχεια, βυθίζουμε τη μαύρη λωρίδα χαρτί μέσα στο νερό (Εικ 3.9-α). Έπειτα, ρίχνουμε μια σταγόνα από το βερνίκι νυχιών στην επιφάνεια του νερού (Εικ. 3.9-β). Το βερνίκι απλώνεται αμέσως στην επιφάνεια του νερού δημιουργώντας μια λεπτή μεμβράνη (Εικ 3.9-γ). Αφαιρώντας τη λωρίδα χαρτιού από το νερό, το βερνίκι κολλάει πάνω στο χαρτόνι δημιουργώντας μια λεπτό φιλμ στην επιφάνειά του, το οποίο αντανακλά διαφορετικά ιριδίζοντα χρώματα μόλις έρθει σε επαφή με το φως του ήλιου. Πάνω στο λεπτό φιλμ, λοιπόν, που έχει δημιουργηθεί στην επιφάνεια του χαρτονιού, παρατηρούμε να εμφανίζονται τα χρώματα της Ίριδας, όπως συμβαίνει στο ουράνιο τόξο (Εικ.3.9-δ).

Η συγκεκριμένη δραστηριότητα εμπεριέχεται στα εγχειρίδια DIY nano: Do-it-yourself science activities that investigate the nanoscale (2016, pp. 52-55) και Nanodays collection: A compendium of nanodays activities and resources from the nanoscale informal science education network (2016, pp. 139-141)

## **Δραστηριότητα 12**

### **Αναλογία όγκου/ επιφάνειας (surface area)**

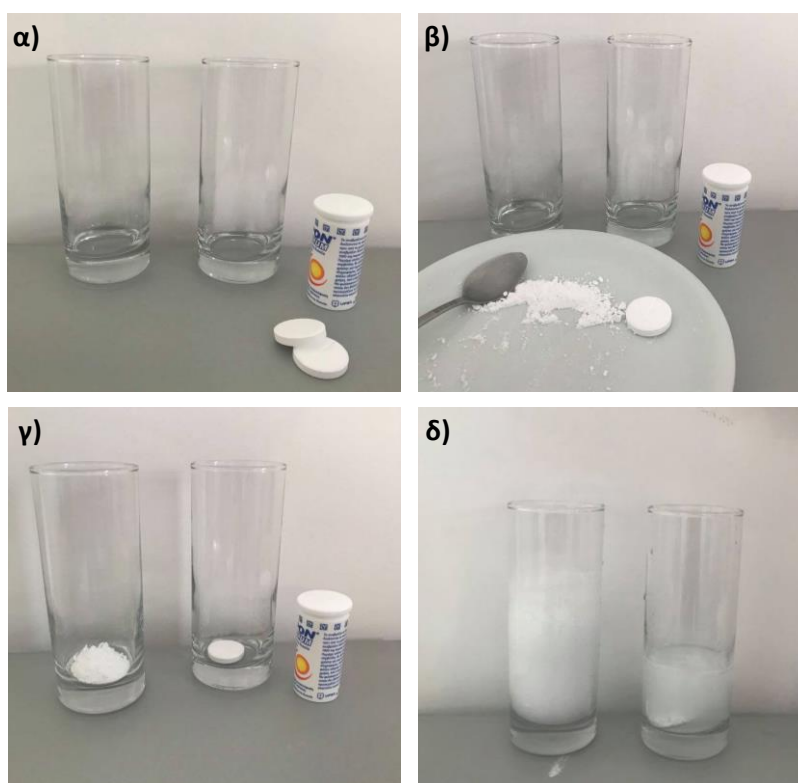
Τα υλικά στη νανοκλίμακα παρουσιάζουν μεγαλύτερη επιφάνεια σε σχέση με τα αντίστοιχα υλικά σε μεγαλύτερες διαστάσεις, εξαιτίας του πολύ μικροσκοπικού τους μεγέθους. Η μεγαλύτερη επιφάνεια τους δίνει τη δυνατότητα να αντιδρούν ευκολότερα και ταχύτερα σε σχέση με τα αντίστοιχα υλικά όγκου, παρουσιάζοντας διαφορετικές ιδιότητες. Η Νανοτεχνολογία εκμεταλλεύεται αυτές τις ιδιότητες της νανοκλίμακας κατασκευάζοντας νέες συσκευές.

Το παρακάτω πείραμα δεν παρουσιάζει κάποια ιδιότητα υλικού στη νανοκλίμακα καθώς, ό,τι παρατηρούμε συμβαίνει στη μακροκλίμακα. Παρ' όλα αυτά, μέσα από το πείραμα, οι μαθητές, παρατηρώντας τον μακρόκοσμο, μπορούν να αντιληφθούν πως λειτουργούν τα υλικά στον νανόκοσμο. Παρατηρώντας φαινόμενα του μακρόκοσμου μπορούν να κατανοήσουν τι είναι η «αναλογία επιφάνειας / όγκου», που προσδίδει στα νανοϋλικά εκπληκτικές ιδιότητες. Στόχος είναι οι μαθητές να κατανοήσουν πως οι ιδιότητες των υλικών διαφέρουν όταν αυτά βρίσκονται στη

νανοκλίμακα και πως τα υλικά στη νανοκλίμακα έχουν μεγαλύτερη επιφάνεια σε σχέση με τα αντίστοιχα υλικά όγκου, γεγονός του τα κάνει να δρουν διαφορετικά.

### Υλικά

- Αναβράζοντα δισκία αναλγητικού
- 2 γυάλινα ποτήρια
- 1 ποτήρι νερό
- Κουτάλι
- Πιάτο



**Εικόνα 3. 10:** α) Υλικά πειράματος, β) Θρυμματίζουμε το ένα δισκίο, γ) Στο ένα ποτήρι (δεξιά) τοποθετούμε το ολόκληρο δισκίο, ενώ στο άλλο (αριστερά) το θρυμματισμένο, γ) Το ποτήρι με το θρυμματισμένο δισκίο αφρίζει περισσότερο.

### Οδηγίες εκτέλεσης πειράματος

Τοποθετούμε τα δύο γυάλινα ποτήρια στον πάγκο. Στο ένα ποτήρι βάζουμε ένα ολόκληρο αναβράζον δισκίο αναλγητικού. Με το κουτάλι θρυμματίζουμε ένα δεύτερο δισκίο μέχρι να γίνει σκόνη. Στη συνέχεια, ρίχνουμε το θρυμματισμένο δισκίο μέσα στο δεύτερο ποτήρι (Εικ. 3.10-α). Προσθέτουμε ταυτόχρονα νερό και στα δύο ποτήρια και παρατηρούμε. Στο ποτήρι με το νερό που περιέχει το θρυμματισμένο δισκίο

παρατηρούμε πολύ μεγαλύτερη ανατάραξη, καθώς παράγονται πολύ περισσότερες φυσαλίδες σε σχέση με το ποτήρι που περιέχει το ολόκληρο δισκίο (Εικ. 3.10-β). Το γεγονός αυτό οφείλεται στο ότι θρυμματίζοντας το δισκίο αυξήθηκε κατά πολύ η επιφάνεια επαφής και δράσης του με το νερό, κάνοντάς τη χημική ουσία που περιέχει να αντιδράσει πολύ γρηγορότερα, καθώς αυξήθηκαν κατά πολύ τα σημεία επαφής. Κάτι ανάλογο συμβαίνει και στον νανόκοσμο. Μειώνοντας το μέγεθος των υλικών αυξάνεται κατά πολύ η επιφάνεια επαφής τους, προσδίδοντάς τους διαφορετικές ιδιότητες σε σχέση με τα υλικά όγκου.

Το συγκεκριμένο πείραμα εμπεριέχεται στα εγχειρίδια DIY nano: Do-it-yourself science activities that investigate the nanoscale (2016, pp. 15-18) και Nanodays collection: A compendium of nanodays activities and resources from the nanoscale informal science education network (2016, pp. 34-35)

## **Γ. Παραδείγματα χρήσης εφαρμογών Νανοτεχνολογίας σε εμπορικά προϊόντα**

### **Δραστηριότητα 13**

#### **Υπερυδροφοβικό σπρέι**

Όπως έχουμε προαναφέρει, κάποια φυσικά υλικά, εξαιτίας νανοδομών διατηρούν στην επιφάνειά τους, παρουσιάζουν την ιδιότητα της υπερυδροφοβικότητας, την ικανότητα, δηλαδή, να απωθούν το νερό. Αυτή την ιδιότητα την εκμεταλλεύεται η Νανοτεχνολογία κατασκευάζοντας υπερυδροφοβικά υλικά. Τέτοιο παράδειγμα νανοτεχνολογικού προϊόντος αποτελεί το υπερυδροφοβικό σπρέι. Το υπερυδροφοβικό σπρέι, όταν εφαρμοστεί σε ένα υλικό, αφού στεγνώσει, δημιουργεί ένα στρώμα/μεμβράνη από νανοεξογκώματα, η οποία μιμούμενη το «φαινόμενο του λωτού» καθιστά την επιφάνεια του υλικού υδροφοβική και υδατοαπωθητική.

Βασικός στόχος του πειράματος είναι οι μαθητές να έρθουν σε επαφή με ένα προϊόν Νανοτεχνολογίας, το οποίο έχει την ικανότητα να μετατρέπει οποιαδήποτε επιφάνεια, στην οποία θα εφαρμοστεί, υπερυδροφοβή<sup>5</sup>.

---

<sup>5</sup> Παραδείγματα εφαρμογής του νανοτεχνολογικού σπρέι αδιαβροχοποίησης σε διάφορα υλικά παρουσιάζονται στα βίντεο των παρακάτω συνδέσμων: <https://www.youtube.com/watch?v=7is6r6zXFDc>  
<https://www.youtube.com/watch?v=3pl8sDNDTOg>



**Εικόνα 3. 11:** Παραδείγματα εφαρμογής υπερυδροφοβικού σπρέι.

### Υλικά

- Υπερυδροφοβικό σπρέι
- Πλαστικό ποτήρι με χρωματισμένο νερό
- Πλαστική πιπέτα
- Κόλλα χαρτί A4
- Ξύλο κόντρα πλακέ
- Κομμάτι βαμβακερό ύφασμα
- Παπούτσι

### Οδηγίες εκτέλεσης πειράματος

Απλώνουμε στον πάγκο διάφορα υλικά όπως μια κόλλα χαρτί A4, ένα ξύλο κόντρα πλακέ και ένα κομμάτι βαμβακερό ύφασμα. Ρίχνοντας με την πλαστική πιπέτα μερικές σταγόνες με χρωματισμένο νερό στο κάθε υλικό παρατηρούμε πως το χαρτί και το ύφασμα απορροφούν τις σταγόνες του νερού, ενώ πάνω στο ξύλο οι σταγόνες απλώνουν. Στη συνέχεια ψεκάζουμε τα τρία υλικά με το υπερυδροφοβικό σπρέι και τα

αφήνουμε λίγη ώρα μέχρι να στεγνώσουν. Αφού το σπρέι στεγνώσει πάνω στην επιφάνεια, ρίχνουμε, ξανά, λίγες σταγόνες από το χρωματισμένο νερό στα τρία υλικά. Τώρα παρατηρούμε πως οι σταγόνες δεν απορροφούνται από το χαρτί και το ύφασμα, ούτε απλώνονται πάνω στο ξύλο, αλλά σχηματίζουν μικρές σφαίρες οι οποίες είτε στέκονται, είτε κυλάνε πάνω στην επιφάνεια των υλικών με αποτέλεσμα τα υλικά να παραμένουν στεγνά. Μπορούμε, επίσης, να δοκιμάσουμε και άλλα υλικά (π.χ. παπούτσι, ρούχα) τα οποία έχουμε ψεκάσει με το σπρέι και έχουν αδιαβροχοποιηθεί. Καταλήγουμε, έτσι, στο συμπέρασμα πως οι επιφάνειες τις οποίες έχουμε ψεκάσει με το νανοτεχνολογικό σπρέι αδιαβροχοποίησης έχει γίνει υπερυδρόφοβες.

## **Δραστηριότητα 14**

### **Αντιθαμβωτικό σπρέι**

Στο συγκεκριμένο πείραμα, οι μαθητές θα γνωρίσουν ένα προϊόν, το οποίο εκμεταλλευόμενο τις ιδιότητες των νανοσωματιδίων δρα αντιθαμβωτικά, όταν εφαρμόζεται σε γυάλινες επιφάνειες.

Το αντιθαμβωτικό σπρέι Νανοτεχνολογίας έχει την ικανότητα να δημιουργεί στην επιφάνεια των φακών των γυαλιών μια αόρατη επίστρωση, η οποία απομακρύνει τα μόρια του νερού των υδρατμών από την επιφάνεια των φακών με αποτέλεσμα να μη θολώνουν και να παραμένουν στεγνοί. Η επιφάνεια των φακών γίνεται «υδρόφιλη», τα μόρια του νερού διασκορπίζονται και οι φακοί παραμένουν διαυγείς.

### **Υλικά**

- Αντιθαμβωτικό σπρέι
- Γυαλιά οράσεως
- Γκαζάκι
- Μπρίκι με νερό
- Πανάκι με μικροΐνες

### **Οδηγίες εκτέλεσης πειράματος**

Ανάβουμε το γκαζάκι, τοποθετούμε το μπρίκι με το νερό και το αφήνουμε μέχρι το νερό να βράσει. Βγάζουμε το μπρίκι από τη φωτιά και το τοποθετούμε πάνω στον πάγκο. Παίρνουμε τα γυαλιά οράσεως και τα κρατάμε πάνω από το μπρίκι με το βραστό νερό

και παρατηρούμε πως οι φακοί των γυαλιών θολώνουν εξαιτίας των υδρατμών. Στη συνέχεια, σκουπίζουμε καλά τα γυαλιά με ένα πανάκι με μικροΐνες και τα ψεκάζουμε με το αντιθαμβωτικό σπρέι. Τα αφήνουμε στην άκρη λίγη ώρα να στεγνώσουν και βάζουμε πάλι το μπρίκι με το νερό να βράσει. Αφού το νερό βράσει και τα γυαλιά έχουν στεγνώσει εντελώς, τα τοποθετούμε πάλι πάνω από το βραστό νερό. Τώρα, παρατηρούμε πως, παρά τους υδρατμούς, οι φακοί των γυαλιών δε θολώνουν. Στην επιφάνεια των φακών έχει δημιουργηθεί μια αόρατη επίστρωση νανομεγέθους, η οποία προστατεύει τους φακούς από το θάμπωμα.

## Κεφάλαιο 4. Συμπεράσματα-Προοπτικές-Προτάσεις

### 4.1 Συμπεράσματα

Μέσα από την εξέταση της βιβλιογραφίας, καθώς και κατά την διαδικασία σχεδιασμού και οργάνωσης των δραστηριοτήτων και των πειραμάτων, έχοντας ως στόχο την παρουσίαση εφαρμογών Νανοτεχνολογίας σε μαθητές Α/θμιας Εκπαίδευσης, εξήχθηκαν κάποια συμπεράσματα τα οποία αξίζει να αναφερθούν.

Αρχικά, οι προσπάθειες ένταξης της Νανοτεχνολογίας και παρουσίασης εφαρμογών της στην Α/θμια Εκπαίδευση, τόσο στην Ελλάδα όσο και σε χώρες του εξωτερικού, είναι ελάχιστες. Όσες προσπάθειες έχουν πραγματοποιηθεί αποτελούν κυρίως προσωπικές πρωτοβουλίες εκπαιδευτικών ή είναι προϊόν ιδιωτικών ή κρατικών φορέων, στα πλαίσια της Άτυπης και μη-Τυπικής Εκπαίδευσης. Αρκετές έρευνες που έχουν πραγματοποιηθεί παγκοσμίως καταδεικνύουν την άγνοια ή τις λανθασμένες αντιλήψεις που έχουν οι μαθητές της Α/θμιας Εκπαίδευσης σχετικά με τον νανόκοσμο, την έννοια της Νανοτεχνολογίας και τις εφαρμογές της στη σημερινή εποχή. Στη χώρα μας, στο Αναλυτικό Πρόγραμμα Σπουδών των Φυσικών Επιστημών της Ε' και Στ' τάξης του Δημοτικού σχολείου δεν υπάρχει ουσιαστική αναφορά στον νανόκοσμο και τη νανοκλίμακα. Η μόνη επαφή που αποκτούν οι μαθητές με τη νανοκλίμακα από τα σχολικά τους εγχειρίδια, είναι μέσα από μικρές αναφορές σε κάποιους οργανισμούς νανομεγέθους (π.χ. ιοί) ή στο DNA, χωρίς όμως να γίνεται ουσιαστικός προσδιορισμός του μεγέθους τους. Επίσης, δε γίνεται καμία αναφορά στις εξαιρετικές ιδιότητες που παρουσιάζουν τα υλικά που βρίσκονται στη νανοκλίμακα εξαιτίας του εξαιρετικά μικρού μεγέθους τους, γεγονός που σχετίζεται άμεσα με την απουσία γνώσεων των μαθητών σχετικών με τη Νανοτεχνολογία.

Οι ανάγκες της σύγχρονης εποχής αλλά και οι μελλοντικές ανάγκες της συνεχώς εξελισσόμενης κοινωνίας απαιτούν σύγχρονες πρακτικές και προσεγγίσεις πάνω σε νέα γνωστικά αντικείμενα, τα οποία θα έχουν ως κύριο στόχο να εξοπλιστούν οι μαθητές με τα κατάλληλα εφόδια, έτσι ώστε να είναι ικανοί να ανταποκριθούν στις νέες συνθήκες. Ένα τέτοιος τομέας είναι και ο τομέας της Νανοτεχνολογίας και της Νανοεπιστήμης, πάνω στον οποίο οι μαθητές πρέπει να εκπαιδευτούν από μικρή ηλικία, έτσι ώστε να είναι ικανοί να αντιμετωπίζουν καθημερινά ζητήματα. Προς αυτή την κατεύθυνση, λαμβάνοντας υπόψη τις αντικειμενικές δυσκολίες που υπάρχουν στα Δημοτικά σχολεία



της Ελλάδας, συνυπολογίζοντας την απουσία γνώσης των μαθητών σχετικών με τη Νανοτεχνολογία και την αναγκαιότητα εκπαίδευσης πάνω στο νέο επιστημονικό πεδίο, μέσα από ενδεδειγμένη έρευνα της παγκόσμιας βιβλιογραφίας επιλέχθηκαν και σχεδιάστηκαν οι δραστηριότητες και τα πειράματα, τα οποία έχουν ως βασικό σκοπό να φέρουν σε επαφή τους μαθητές με υλικά νανοκλίμακας, γνωρίζοντας κάποιες από τις ιδιότητες τους, καθώς και να γνωρίσουν εμπορικά προϊόντα τα οποία εκμεταλλεύονται αυτές τις ιδιότητες. Οι δραστηριότητες που παρουσιάστηκαν στη συγκεκριμένη διπλωματική εργασία αποτελούν μια πρόταση παρουσίασης εφαρμογών Νανοτεχνολογίας για μαθητές Ε΄ και Στ΄ τάξης Α/θμιας Εκπαίδευσης με απλό και κατανοητό τρόπο, η οποία μπορεί να παρουσιάσει διάφορες προοπτικές εφαρμογής.

#### **4.2 Προοπτικές- Προτάσεις παρουσίασης**

Η συγκεκριμένη πρόταση παρουσίασης εφαρμογών Νανοτεχνολογίας παρουσιάζει διάφορες προοπτικές ενσωμάτωσης στο μάθημα της Φυσικής της Ε΄ και Στ΄ τάξης του Δημοτικού σχολείου, κάποιες από τις οποίες αναφέρονται παρακάτω.

Αρχικά, μια πρώτη πρόταση παρουσίασης και εφαρμογής των δραστηριοτήτων και των πειραμάτων είναι να ενταχθούν μέσα σε ένα ξεχωριστό πρότζεκτ για τη Νανοτεχνολογία, το οποίο θα είναι σχεδιασμένο για μαθητές της Ε΄ και της Στ΄ τάξης και θα πλαισιώνεται και από άλλες δράσεις με διαθεματική, διεπιστημονική προσέγγιση και ομαδοσυνεργατική προσέγγιση. Ένα τέτοιο πρότζεκτ θα μπορούσε να σχεδιαστεί από τον εκπαιδευτικό της τάξης ή από μια ομάδα εκπαιδευτικών που έχουν γνώση του εκπαιδευτικού αντικειμένου και θα μπορούσε να περιλαμβάνει διάφορες δραστηριότητες και διδακτικές τεχνικές, όπως μελέτη κειμένων και άρθρων σχετικών με τη Νανοτεχνολογία, προβολή βίντεο, δημιουργία μοντέλων του νανόκοσμου και παιγνιώδεις διαδραστικές δραστηριότητες, έτσι ώστε οι μαθητές να αποκτήσουν μια σφαιρική εικόνα για τη Νανοτεχνολογία και τον νανόκοσμο. Το πρότζεκτ, επίσης, θα μπορούσε να έχει διαθεματική και διεπιστημονική προσέγγιση, εμπλέκοντας διάφορα γνωστικά αντικείμενα και επιστήμες. Εκτός από το μάθημα των Φυσικών Επιστημών, θα μπορούσε να εμπλέκεται το μάθημα των Μαθηματικών συμβάλλοντας σημαντικά στην κατανόηση μαθηματικών εννοιών, καθώς και άλλα διδακτικά αντικείμενα. Για παράδειγμα, αναφορικά με το μάθημα των Μαθηματικών, θα μπορούσαν να περιλαμβάνονται δραστηριότητες μετατροπής μεγεθών από μια μονάδα μέτρησης σε

άλλες (π.χ. από m σε μη ή nm) ή ασκήσεις εμπέδωσης των δεκαδικών αριθμών και εξοικείωση με τις δυνάμεις. Οι δραστηριότητες που παρουσιάζονται στη συγκεκριμένη διπλωματική εργασία θα μπορούσαν να ενταχθούν στο πρότζεκτ εξ ολοκλήρου ή να γίνει επιλογή κάποιων από αυτές από τον υπεύθυνο εκπαιδευτικό ανάλογα με τους στόχους, τις εκπαιδευτικές ανάγκες και επιδιώξεις, συμπληρώνοντας τις δράσεις του. Με αυτόν τον τρόπο οι μαθητές θα είχαν τη δυνατότητα να εμπλακούν ενεργά στη διαδικασία, να διερευνήσουν έναν κόσμο εντελώς άγνωστο σε αυτούς, να ανακαλύψουν μόνοι τους τη νέα γνώση, να συνεργαστούν μεταξύ τους και να αποκτήσουν μια πραγματική εμπειρία εξερευνώντας τον «μαγικό» κόσμο του νανόκοσμου.

Μια εναλλακτική πρόταση θα ήταν η ένταξη και σύνδεση των δραστηριοτήτων με τα γνωστικά αντικείμενα συγκεκριμένων κεφαλαίων που διδάσκονται οι μαθητές της Ε΄ και Στ΄ τάξης από τα βιβλία της Φυσικής, σύμφωνα με το Αναλυτικό Πρόγραμμα Σπουδών. Πιο συγκεκριμένα, όσον αφορά την Ε΄ τάξη, στο μάθημα της Φυσικής, στην 1<sup>η</sup> ενότητα, η οποία αφορά τα υλικά σώματα, τη δομή της ύλης και τις ιδιότητες των υλικών σωμάτων, θα μπορούσαν να ενταχθούν οι δραστηριότητες 1, 2 και 3 οι οποίες μπορούν να εισάγουν τους μαθητές στα υλικά νανομεγέθους και τις ιδιότητές τους. Επίσης, στην 1<sup>η</sup> ενότητα θα μπορούσαν να ενταχθούν οι δραστηριότητες 6 (υπερυδροφοβικότητα), 8 (ferrofluids) και 12 (αναλογία όγκου/ επιφάνειας) φέρνοντας τους μαθητές σε επαφή με κάποιες από τις ιδιότητες των νανοϋλικών. Στη 2<sup>η</sup> ενότητα, η οποία αφορά μίγματα και διαλύματα, θα μπορούσαν να ενταχθούν οι δραστηριότητες 5 (αρωματικά δοχεία) και 10 (φθορίζον μελάνι), καθώς περιλαμβάνουν πειράματα τα οποία βασίζονται σε μίγματα και διαλύματα, μέσα από τα οποία οι μαθητές μπορούν να αντιληφθούν το μέγεθος των νανοϋλικών και να δημιουργήσουν μόνοι τους φθορίζον μελάνι, το ιδιαίτερο χρώμα του οποίου οφείλεται σε ιδιότητες νανοκλίμακας. Τέλος, στην 6<sup>η</sup> ενότητα θα μπορούσε να ενταχθεί η δραστηριότητα 7, η οποία ασχολείται με τον ηλεκτρισμό, παρουσιάζοντας ένα υλικό, τον γραφίτη, του οποίου η ηλεκτρική αγωγιμότητα οφείλεται στη νανοδομή του.

Όσον αφορά το μάθημα της Φυσικής της Στ΄, στην 3<sup>η</sup> ενότητα, η οποία αναφέρεται στα άβια και έμβια όντα καθώς και στα δομικά στοιχεία τους, τα κύτταρα, μέσα στα οποία βρίσκεται το DNA κάθε οργανισμού, θα μπορούσαν να ενταχθούν οι δραστηριότητες 1, 2 και 3, παρουσιάζοντας υλικά παρόμοιου μεγέθους με τα δομικά στοιχεία των οργανισμών, δίνοντας στους μαθητές τη δυνατότητα να αντιληφθούν καλύτερα το νανομέγεθος και τη νανοκλίμακα. Στην 9<sup>η</sup> ενότητα η οποία ασχολείται με

τον ηλεκτρομαγνητισμό θα μπορούσε να ενταχθεί η δραστηριότητα 8, παρουσιάζοντας στους μαθητές τα ferrofluids, των οποίων οι μαγνητικές ιδιότητες οφείλονται σε ιδιότητες νανοκλίμακας. Στην 10<sup>η</sup> ενότητα η οποία αναφέρεται στο φως, γίνεται αναφορά στους φακούς και τα μικροσκόπια καθώς και στα χρώματα, τα φωτόνια και τη δημιουργία του ουράνιου τόξου. Στη ενότητα αυτή, αρχικά θα μπορούσαν να πραγματοποιηθούν οι δραστηριότητες 1, 2, 3 παίρνοντας αφόρμηση από τους φακούς που χρησιμοποιούνται στα μέσα παρατήρησης του μακρόκοσμου( μεγεθυντικοί φακοί) και του μικρόκοσμου (οπτικά μικροσκόπια), εισάγοντας τους μαθητές στον νανόκοσμο, η παρατήρηση του οποίου απαιτεί ηλεκτρικό μικροσκόπιο. Επίσης, στην υποενότητα η οποία αναφέρεται στο φως και τα χρώματα, θα μπορούσαν να παρουσιαστούν τα πειράματα των δραστηριοτήτων 9 (αόρατο αντηλιακό), 10 (φθορίζον μελάνι) και 11 (λεπτά φιλμ) παρουσιάζοντας ιδιότητες νανοϋλικών οι οποίες σχετίζονται με το φως και τα χρώματα.

Παρ' όλα αυτά, η δεύτερη πρόταση παρουσιάζει πολύ περισσότερες δυσκολίες εφαρμογής, καθώς η ένταξη των δραστηριοτήτων με αυτό τον τρόπο αποτελεί αποσπασματική προσέγγιση της γνώσης και απαιτείται ειδική διαχείριση, προγραμματισμό και πλαισίωση και από άλλες δράσεις, έτσι ώστε να αποδώσει και οι μαθητές να μπορέσουν να αποκτήσουν σφαιρική γνώση πάνω στη Νανοτεχνολογία. Ακολουθώντας αυτή την προσέγγιση, αν εφαρμοστεί αποσπασματικά, χωρίς συγκεκριμένο χρονικά προσδιορισμένο πλάνο, το πιο πιθανό είναι οι μαθητές να αποκτήσουν απλά μια «ιδέα» του τι είναι Νανοτεχνολογία και μικρή γνώση σχετικά με κάποιες ιδιότητες υλικών οι οποίες οφείλονται στη νανοκλίμακα. Έτσι, προτείνεται ως ιδανικότερη η προσέγγιση ενός ξεχωριστού διαθεματικού-διεπιστημονικού πρότζεκτ Νανοτεχνολογίας, με συγκεκριμένο χρονοδιάγραμμα εφαρμογής και ορισμένους στόχους, έτσι ώστε οι μαθητές να αποκτήσουν πλήρη και σφαιρική γνώση σχετικά με τη Νανοτεχνολογία και τις εφαρμογές τις.

Αξίζει να αναφερθεί πως όλα τα παραπάνω αποτελούν απλά προτάσεις καθώς ο κάθε εκπαιδευτικός είναι ελεύθερος να χρησιμοποιήσει και να εντάξει τις παραπάνω δραστηριότητες στο μάθημα του όπως αυτός πιστεύει, προσαρμόζοντάς τες σύμφωνα με τις εκπαιδευτικές ανάγκες της τάξης του και τους διδακτικούς στόχους τους οποίους έχει θέσει ο ίδιος.

### 4.3 Αντικειμενικές δυσκολίες

Ο σχεδιασμός των πειραμάτων πραγματοποιήθηκε αφού λήφθηκαν υπόψη οι αντικειμενικές δυσκολίες που αντιμετωπίζονται στα Δημοτικά σχολεία στην Ελλάδα. Μια από τις βασικές αντικειμενικές δυσκολίες που αντιμετωπίζουν πολλά δημόσια Δημοτικά σχολεία είναι η έλλειψη εργαστηρίου Φυσικής, καθώς και υλικών για την εκτέλεση πειραμάτων. Για να ξεπεραστεί αυτή η δυσκολία τα πειράματα σχεδιάστηκαν με τέτοιο τρόπο ώστε να μπορούν να πραγματοποιηθούν εύκολα εντός της σχολικής αίθουσας από τους ίδιους τους μαθητές, χωρίς να χρειάζεται εργαστήριο ή εξειδικευμένος εξοπλισμός. Επίσης, τα υλικά τα οποία επιλέχθηκαν είναι απλά και μπορεί ο καθένας να τα έχει στο σπίτι του ή να τα προμηθευτεί πολύ εύκολα, με πολύ χαμηλό χρηματικό κόστος.

Μια άλλη αντικειμενική δυσκολία που έπρεπε να ξεπεραστεί ήταν η έλλειψη εκπαίδευσης των εκπαιδευτικών πάνω σε θέματα Νανοτεχνολογίας και νανοκλίμακας. Έτσι οι δραστηριότητες επιλέχθηκαν με τέτοιο τρόπο ώστε να μην χρειάζεται εκπαίδευση για τον εκπαιδευτικό, ούτε κάποια εξειδίκευση για να μπορέσει να τις εφαρμόσει στην τάξη. Αρκούν βασικές γνώσεις Φυσικής και απλών εννοιών Νανοτεχνολογίας, κυρίως σχετικά με τη νανοκλίμακα και τις ιδιότητες των υλικών σε αυτήν. Τέλος, για να ξεπεραστεί η δυσκολία της έλλειψης γνώσης των μαθητών σχετικά με τη Νανοτεχνολογία και τον νανόκοσμο, τα πειράματα που περιλαμβάνονται στις δραστηριότητες είναι σχεδιασμένα έτσι ώστε να υλοποιούνται με απλό τρόπο και απλά υλικά, τα περισσότερα από τα οποία είναι γνωστά στους μαθητές και σχετίζονται με φυσικές έννοιες με τις οποίες έχουν έρθει σε επαφή μέσα από τα σχολικά βιβλία. Αποφεύγεται η αναφορά σε δυσνόητους όρους και ορισμούς, ούτε απαιτείται από τους μαθητές να προσδιορίσουν ακριβώς έννοιες, αλλά με απλά λόγια γίνεται η εξήγηση του φαινομένου δίνοντας έμφαση στο γεγονός ότι οι ιδιότητες αυτές οφείλονται στο μέγεθος των υλικών (νανοκλίμακα). Έτσι, οι μαθητές με απλό και δημιουργικό τρόπο έρχονται σε επαφή με νανοτεχνολογικά φαινόμενα, γνωρίζουν τις ιδιότητες νανοϋλικών καθώς και εμπορικά προϊόντα στα οποία βρίσκουν εφαρμογή.

## Βιβλιογραφικές Αναφορές

- Adir, O., Poley, M., Chen, G., Nitzan, K., Shklover, J., Shainsky-Roitman, J., . . . Lammers, T. (2019). Integrating artificial intelligence and nanotechnology for precision cancer medicine. *Advanced Materials*, 32(14), pp. 1-15.
- Aleeva, Y., & Pignataro, B. (2014). Recent advances in upscalable wet methods and ink formulations for printed electronics. *J. Mater. Chem. C*, 2, pp. 6436-6453 .
- Allhoff, P., Lin, P., & Moore, D. (2010). The basics of nanotechnology. In P. Allhoff, P. Lin, & D. Moore, *What is nanotechnology and why does it matter?: From science to ethics* (pp. 1-19). Wiley-Blackwell.
- Bajpai, V. K., Kamle, M., Shukla, S., Mahato, D. K., Chandra, P., Hwang, S. K., . . . Han, Y.-K. (2018, October). Prospects of using nanotechnology for food preservation, safety, and security. *Journal of Food and Drug Analysis*, pp. 1201-1214.
- Ball, A. S., Patil, S., & Soni, S. (2019). Introduction into nanotechnology and microbiology. In A. S. Ball, S. Patil, & S. Soni, *Methods in microbiology* (pp. 1-18). Elsevier.
- Belessi, V., & Petridis, D. (2014). Modified and nonmodified TiO<sub>2</sub> nanoparticles for environmental applications. In M. Fanun (Ed.), *The role of colloidal systems in environmental protection* (pp. 289-330). Poland: Elsevier.
- Belessi, V., Lambropoulou, D., Konstantinou, I., Katsoulidis, A., Pomonis, P., Petridis, D., & Albanis, T. (2007). Structure and photocatalytic performance of TiO<sub>2</sub>/clay nanocomposites for the degradation of dimethachlor. *Applied Catalysis B: Environmental*, 73, pp. 292–299.
- Belessi, V., Lambropoulou, D., Konstantinou, I., Zboril, R., Tucek, J., Jancik, D., . . . Petridis, D. (2009). Structure and photocatalytic performance of magnetically separable titania photocatalysts for the degradation of propachlor. *Applied Catalysis B: Environmental*, 87, pp. 181–189.
- Belessi, V., Petridis, D., Steriotis, T., Spyrou, K., Manolis, G. K., Psycharis, V., & Georgakilas, V. (2019). Simultaneous reduction and surface functionalization of graphene oxide for highly conductive and water dispersible graphene derivatives. *SN Applied Sciences*, 1(77).
- Belessi, V., Romanos, G., Boukos, N., Lambropoulou, D., & Trapalis, C. (2009). Removal of Reactive Red 195 from aqueous solutions by adsorption on the surface of TiO<sub>2</sub> nanoparticles. *Journal of Hazardous Materials*, 170 , pp. 836–844.
- Belessi, V., Zboril, R., Tucek, J., Mashlan, M., Tzitzios, V., & Petridis, D. (2008). Ferrofluids from magnetic–chitosan hybrids. *Chemistry of Materials*, 20(10), pp. 3298–3305.
- Binns, C. (2010). *Introduction to nanoscience and nanotechnology*. New Jersey: Wiley.

- Blonder, R., & Dinur, M. (2011). Teaching nanotechnology using student-centered pedagogy for increasing students' continuing motivation. *Journal of Nano Education*, 3(1-2), pp. 51-61.
- Blonder, R., & Sakhnini, S. (2012). Teaching two basic nanotechnology concepts in secondary school by using a variety of teaching methods. *Chemistry Education Research and Practice*, 13, pp. 500–516.
- Blonder, R., & Sakhnini, S. (2015). The making of nanotechnology: Exposing high-school students to behind-the-scenes of nanotechnology by inviting them to a nanotechnology conference. *Nanotechnology Reviews*, 4(1), pp. 103–116.
- Blonder, R., & Sakhnini, S. (2017). Finding the connections between a high-school chemistry curriculum and nano science and technology. *Chemistry Education Research and Practice*, 18, pp. 903-922.
- Bruus, H. (2004). *Introduction to nanotechnology*. Lyngby: Department of Micro and Nanotechnology, Technical University of Denmark.
- Bryan, L. A., Magana, A. J., & Sederberg, D. (2015). Published research on pre-college students' and teachers' nanoscale science, engineering, and technology learning. *Nanotechnology Reviews*, 4(1), pp. 7-32.
- Callister, W. D., & Rethwisch, D. G. (2006). *Επιστήμη και Τεχνολογία υλικών* (5th ed.). Τζιόλα.
- Cassano, D., & Voliani, V. (2018). *Behaviors and persistence of nanomaterials in biomedical applications*. USA: Wiley-Scrivener.
- Castellini, O. M., Walejko, G. K., Holladay, C. E., Theim, T. J., Zenner, G. M., & Crone, W. C. (2007). Journal of Nanoparticle Research. *Nanotechnology and the public: Effectively communicating nanoscale science and engineering concepts*, 9, pp. 183–189.
- Coombs, P. H. (1969). The world educational crisis: A systems analysis. *The Economic Journal*, 79(314), pp. 388–389.
- Coombs, P. H., & Ahmed, M. (1974). *Attacking rural poverty: How non-formal education can Help*. Baltimore: Johns Hopkins University Press.
- Davarcioglu, B. (2017). Nanotechnology applications in food. In R. Prasad, V. Kumar, M. Kumar, R. Prasad, V. Kumar, & M. Kumar (Eds.), *Nanotechnology: Food and Environmental Paradigm* (pp. 87-113). Singapore: Springer.
- DIY nano: Do-it-yourself science activities that investigate the nanoscale*. (2016). New York: Nise Network.
- Drexler, E. (1981). Molecular engineering: An approach to the development of general capabilities for molecular manipulation. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 78(9), pp. 5275-5278.

- Epstein, H. A., & Kielbassa, A. (2013). Nanotechnology in cosmetic products. In D. Bagchi, M. Bagchi, H. Moriyama, F. Shahidi, D. Bagchi, M. Bagchi, H. Moriyama, & F. Shahidi (Eds.), *Bio-Nanotechnology: A revolution in food, biomedical and health sciences* (pp. 414-423). Wiley-Blackwell.
- Feynman, R. P. (1960). There's plenty of room at the bottom: An invitation to enter a new field of physics. *Engineering and Science*, pp. 22-38.
- Ganguly, S., & Mukhopadhyay, S. K. (2011). Nano science and nanotechnology: Journey from past to present and prospect in veterinary science and medicine. *International Journal of NanoScience and Nanotechnology*, pp. 79-83.
- Ghattas, N. I., & Carver, J. S. (2012). Integrating nanotechnology into school education: A review of the literature. *Research in Science & Technological Education*, 30(3), pp. 271-284.
- Hayes, E. (2010). School experiments at the nanoscale. *Science in School*, 17, pp. 34-40.
- Hook, C. (2007). Nanotechnology and the future of medicine. In N. M. S. Cameron, M. E. Mitchell, N. M. S. Cameron, & M. E. Mitchell (Eds.), *Nanoscale: Issues and perspectives for the nano century* (pp. 337-357). Wiley.
- Horikoshi, S., & Serpone, N. (2013). Introduction to nanoparticles. In S. Horikoshi, & N. Serpone, *Microwaves in nanoparticle synthesis: Fundamentals and applications* (pp. 1-24). Weinheim: Wiley-VCH.
- Ibrahim, I. D., Sadiku, E. R., Jamiru, T., Hamam, Y., Alayli, Y., & Eze, A. A. (2020). Prospects of nanostructured composite materials for energy harvesting and storage. *Journal of King Saud University – Science*, pp. 758-764.
- Jeevanandam, J., Barhoum, A., Chan, Y. S., Dufresne, A., & Danquah, M. K. (2018). Review on nanoparticles and nanostructured materials: History, sources, toxicity and regulations. *Beilstein Journal of Nanotechnology*, pp. 1050-1074.
- Jinu, M., Joya, J., & Soney, G. C. (2019). Potential applications of nanotechnology in transportation: A review. *Journal of King Saud University - Science*, pp. 586-594.
- Jones, M. G., Blonder, R., Gardner, G. E., Albe, V., & Falvo, M. (2013). Nanotechnology and nanoscale science: Educational challenges. *International Journal of Science Education*, 35(9), pp. 1490-1512.
- Jones, M. G., Falvo, M. R., Taylor, A. R., & Broadwell, B. P. (2007). *Nanoscale science: Activities for grades 6-12*. USA: NSTA Press.
- Khan, I., Saeed, K., & Khan, I. (2019). Nanoparticles: Properties, applications and toxicities. *Arabian Journal of Chemistry*, pp. 908-931.
- Kiparissides, C., & Kammona, O. (2015). Nanotechnology advances in diagnostics, drug delivery and regenerative medicine. In M. V. Voorde, M. Werner, H.-J. Fecht, M. V.

- Voorde, M. Werner, & H.-J. Fecht (Eds.), *The nano-micro interface: Bridging the micro and nanoworlds*, (2 ed., pp. 311-339). Wiley-VCH.
- Koutsoukis, A., Belessi, V., & Georgakilas, V. (2019). Fluorescent carbon dots ink for gravure printing. *Journal Of Carbon Research*, 5(1), pp. 2-7.
- Koutsoukis, A., Georgakilas, V., Belessi, V., & Zboril, R. (2017). Highly conductive water-based polymer/graphene nanocomposites for printed electronics. *Chemistry A European Journal*, 23, pp. 8268-8274.
- Kumar, N., & Kumbhat, S. (2016). *Essentials in nanoscience and nanotechnology*. New Jersey: Wiley.
- Καθαρισμός πετρελαιοκηλίδων με μαγνήτες: Τεχνολογία του MIT. (2012, Σεπτέμβριος 12). Ανάκτηση από [naftemporiki.gr](http://naftemporiki.gr): <https://m.naftemporiki.gr/story/365383>
- Laherto, A. (2010). An analysis of the educational significance of nanoscience and nanotechnology in scientific and technological literacy. *Science Education International*, 21(3), pp. 160-175.
- Lin, S.-Y., Wu, M.-T., Cho, Y.-I., & Chen, H.-H. (2015). The effectiveness of a popular science promotion program on nanotechnology for elementary school students in I-Lan City. *Research in Science & Technological Education*, 33(1), pp. 22-37.
- Lu, C.-C., & Sung, C.-C. (2011). Effect of nanotechnology instructions on senior high school students. *Asia-Pacific Forum on Science Learning and Teaching*, 12(2), pp. 1-18.
- Lynn, B. A., Magana, A. J., & Sederberg, D. (2015). Published research on pre-college students' and teachers' nanoscale science, engineering, and technology learning.
- MacCormac, A., O'Brien, E., & O'Kennedy, R. (2010). Classroom activity connections: Lessons from fluorescence. *Journal of Chemical Education*, 87(7), pp. 685-686.
- Mallmann, M. (2008). Nanotechnology in school. *Science In School*, 10, pp. 70-75.
- Mandrikas, A., Michailidi, E., & Stavrou, D. (2019). Teaching nanotechnology in primary education. *Research in Science & Technological Education*, 38(4), pp. 377-395.
- Mckenna, K. P. (2009). Unique bonding in nanoparticles and powders. In K. J. Klabunde, R. M. Richards, K. J. Klabunde, & R. M. Richards (Eds.), *Nanoscale materials in chemistry* (2 ed., pp. 15-36). New Jersey, USA: Wiley.
- Meyyappan, M. (2004). Nanotechnology education and training. *Journal of Materials Education*, 26(3-4), pp. 311 – 320.
- Michael, F., & Hochella, J. (2002). Nanoscience and technology: The next revolution in the Earth sciences. *Earth and Planetary Science Letters*, pp. 593-605.
- Minoli, D. (2006). *Nanotechnology applications to telecommunications and networking*. New Jersey: Wiley.



- Murriello, S., Contier, D., & Knobel, M. (2008). Nanoaventura: An interactive exhibition on nanoscience and nanotechnology as an educational tool. *Journal of Nano Education, 1*, pp. 1-10.
- Nanodays collection: A compendium of nanodays activities and resources from the nanoscale informal science education network.* (2016). New York: Nise Network.
- Ng, W., Hu, G., Howe, R., Zhu, X., Yang, Z., Jones, C., & Hasan, T. (2019). *Printing of graphene and related 2D materials technology, formulation and applications.* Berlin: Springer.
- Nobile, S., & Nobile, L. (2019). Exploring nanotechnology applications in medicine. In A. Sohail, Z. Li, A. Sohail, & Z. Li (Eds.), *Computational approaches in biomedical nano-engineering* (pp. 147-172). Weinheim, Germany: Wiley-VCH.
- Nouailhat, A. (2008). *An introduction to Nanoscience and Nanotechnology.* John Wiley & Sons.
- Novoselov, S. K., Geim, K. A., Morozov, V. S., Jiang, D., Zhang, Y., Dubonos, V. S., . . . Firsov, A. A. (2004). Electric field effect in atomically thin carbon films. *Science, 306*, pp. 666-669.
- Pautrat, J.-L. (2011). Nanosciences: Evolution or revolution? *Comptes Rendus Physique*, pp. 605-613.
- Ramsden, J. J. (2014). *Applied nanotechnology: The conversion of research results to products.* USA: Elsevier.
- Saidi, T., & Sigauke, E. (2017). The use of museum based science centres to expose primary school students in developing countries to abstract and complex concepts of nanoscience and nanotechnology. *Journal of Science Education and Technology, 26*(5), pp. 470-480.
- Schaming, D., & Remita, H. (2015). Nanotechnology: From the ancient time to nowadays. *Foundations of Chemistry*, pp. 187-205.
- Schulenburg, D. M. (2007). Νανοτεχνολογία: Καινοτομίες για τον αυριανό κόσμο. Γερμανία: Ευρωπαϊκή Επιτροπή, Γενική Διεύθυνση Έρευνας. ISBN 92-79-00876-5. Ανάκτηση από <https://cupdf.com/document/nanotechnology-55844ed763a4b.html>
- Sengupta, A., & Sarkar, C. K. (2015). *Introduction to Nano.* Springer, Berlin, Heidelberg.
- Sharon, M. (2019). *History of nanotechnology: From prehistoric to modern times.* USA: Scrivener-Wiley.
- Spencer, D., Waldron, A. M., & Batt, C. A. (2006). The current state of public understanding of nanotechnology. *Journal of Nanoparticle Research*, pp. 569–575.

- Stavrou, D., Michailidi, E., Sgouros, G., & Dimitriadi, K. (2015). Teaching high-school students nanoscience and nanotechnology. *Lumat: International Journal on Math, Science and Technology Education*, 3(4), pp. 501-511.
- Stevens, S. Y., Sutherland, L. M., & Krajcik, J. S. (2009). *The big ideas of nanoscale science and engineering: A guidebook for secondary teachers*. Arlington: NSTA Press.  
Retrieved from books.google.gr:  
[https://books.google.gr/books?id=3LfnUT6sMgC&printsec=frontcover&hl=el&source=gbg\\_summary\\_r&cad=0#v=onepage&q&f=false](https://books.google.gr/books?id=3LfnUT6sMgC&printsec=frontcover&hl=el&source=gbg_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false)
- The Royal Society & The Royal Academy of Engineering. (2004). *Nanoscience and nanotechnologies: Opportunities and uncertainties*. London: The Royal Society & The Royal Academy of Engineering.
- Tomczyk, M. (2015). *Nanoinnovation: What every manager needs to know*. Weinheim: Wiley-VCH.
- Tretter, T. R., Jones, M. G., Andre, T., Negishi, A., & Minogue, J. (2006). Conceptual boundaries and distances: Students' and experts' concepts of the scale of scientific phenomena. *Journal of Research in Science Teaching*, 43(3), pp. 282-319.
- Varadan, V. K., Chen, L., & Xie, L. (2008). *Nanomedicine: Design and applications of magnetic nanomaterials, nanosensors and nanosystems*. United Kingdom: Wiley.
- Verhoeven, J. D., Pendray, A. H., & Dauksch, W. E. (1998). The key role of impurities in ancient Damascus steel blades. *JOM*, 50(8), pp. 58-64.
- Waldron, A. M., Spencer, D., & Batt, C. A. (2006). The current state of public understanding of nanotechnology. *Journal of Nanoparticle Research*, 8, pp. 569–575.
- Wanson, S., Mason, T. O., Hersam, M. C., Drane, D., Light, G., Gormia, R., . . . Bodner, G. (2009). A rubric for post-secondary degree programs in nanoscience and nanotechnology. *International Journal of Engineering Education*, 25(3), pp. 615-627.
- Watson, G. S., Watson, J. A., Hu, S., Brown, C. L., Cribb, B., & Myhra, S. (2010). Micro and nanostructures found on insect wings –designs for minimising adhesion and friction. *International Journal of Nanomanufacturing*, 5(1-2), pp. 112-128.
- Αλεξίου, Δ., Πέικος, Γ., & Μάνου, Λ. (2018). 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, & Κ. Αθανασία (Επιμ.), *10ο Πανελλήνιο Συνέδριο Διδακτικής των Φυσικών Επιστημών και Νέων Τεχνολογιών στην Εκπαίδευση "Γεφυρώνοντας το Χάσμα μεταξύ Φυσικών Επιστημών, Κοινωνίας και Εκπαιδευτικής Πράξης"* (σσ. 868-873). Ρέθυμνο: Παιδαγωγικό Τμήμα Δημοτικής Εκπαίδευσης, Εργαστήριο Διδακτικής Φυσικών Επιστημών, Πανεπιστήμιο Κρήτης.

- Βασιλοπούλου, Ε. (2016). *Αξιολόγηση των γνώσεων μαθητών και καθηγητών σε θέματα Νανοτεχνολογίας και διερεύνηση εναλλακτικών τρόπων ένταξής της στα προγράμματα Δευτεροβάθμιας Εκπαίδευσης*. (Μεταπτυχιακή διατριβή, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Ελλάδα). Ανάκτηση από <http://ikee.lib.auth.gr/record/283001/files/GRI-2016-16572.pdf>
- Βελέτζας, Α., Δημητριάδη, Κ., Μανδρίκας, Α., Μαργαρίτης, Α., & Σάλτα, Κ. (2015). Εφαρμογή διδακτικής ενότητας σε θέματα Νανοτεχνολογίας. Στο Δ. Ψύλλος, Α. Μολοχίδης, & Μ. Καλλέρη (Επιμ.), *9ο Πανελλήνιο Συνέδριο Διδακτικής των φυσικών Επιστημών και Νέων Τεχνολογιών στην Εκπαίδευση- Διδασκαλία και Μάθηση στις Φυσικές Επιστήμες και την Τεχνολογία: Έρευνες, Καινοτομίες και Πρακτικές* (σσ. 53-59). Παιδαγωγικό Τμήμα Δημοτικής Εκπαίδευσης, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης.
- Γκίτσας, Σ. (2017). *Το φαινόμενο του λωτού στο δημοτικό σχολείο: Σχεδιασμός, ανάπτυξη και αξιολόγηση εκπαιδευτικού υλικού σε περιβάλλον μη-τυπικής εκπαίδευσης*. (Μεταπτυχιακή Διατριβή, Πανεπιστήμιο Δυτικής Μακεδονίας, Παιδαγωγική Σχολή Φλώρινας, Τμήμα Δημοτικής Εκπαίδευσης). Ανάκτηση από [https://dspace.uowm.gr/xmlui/bitstream/handle/123456789/688/Gkitsas\\_Final.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://dspace.uowm.gr/xmlui/bitstream/handle/123456789/688/Gkitsas_Final.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Κεφαλληνού, Κ. (2019). *Νανοτεχνολογία και εφαρμογές. Διερεύνηση ένταξης της Νανοτεχνολογίας στο Πρόγραμμα των Φυσικών Επιστημών στη Δευτεροβάθμια Εκπαίδευση*. (Μεταπτυχιακή διατριβή, Ελληνικό Ανοικτό Πανεπιστήμιο, Πάτρα). Ανάκτηση από [https://apothesis.eap.gr/bitstream/repo/41368/1/std133483\\_KEFALLINOY\\_KIRIAKI.pdf](https://apothesis.eap.gr/bitstream/repo/41368/1/std133483_KEFALLINOY_KIRIAKI.pdf)
- Κόκκοτας, Π., & Βλάχος, Γ. (2000). Ο ρόλος του πειράματος στην επιστήμη και στη διδασκαλία-μάθηση. Στο Α. Bargellini, Μ. C. Mariani, J. Ogborn, Ε. Αντωνίου, Γ. Βλάχος, Γ. Καλκάνης, . . . Β. Χατζηνικήτα, & Π. Β. Κόκκοτας (Επιμ.), *Διδακτικές προσεγγίσεις στις Φυσικές Επιστήμες: Σύγχρονοι προβληματισμοί* (σσ. 211-236). Αθήνα: Τυποθήτω.
- Κρεμμύδα, Ό. (2019). *Εκπαιδευτικές δραστηριότητες για την εξοικείωση παιδιών μικρής ηλικίας με εφαρμογές της Νανοτεχνολογίας για την προστασία της πολιτιστικής κληρονομιάς*. (Μεταπτυχιακή Εργασία, Πανεπιστήμιο Δυτικής Μακεδονίας, Παιδαγωγική Σχολή Φλώρινας, Τμήμα Δημοτικής Εκπαίδευσης). Ανάκτηση από <https://dspace.uowm.gr/xmlui/bitstream/handle/123456789/1480/KREMMYDA%20OLGA%20.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Κώτσης, Κ. Θ. (2001). Η χρήση πειραμάτων στη διδασκαλία της Φυσικής στο ελληνικό δημοτικό σχολείο. *Επιστημονική Επετηρίδα Παιδαγωγικού Τμήματος Δ.Ε(14)*, σσ. 219-231.

- Μαλτέζος, Χ. Γ. (2021). *Αρχαία ελληνική Νανοτεχνολογία σε υάλινα τεχνουργήματα της ελληνιστικής περιόδου*. Ανάκτηση από Αρχαίον Πολιτισμού: <http://www.archeion-politismou.gr/2021/02/nanotexnologa-yalina-texnourgimata.html>
- Μάνου, Λ., & Σπύρτου, Α. (2013). Η εισαγωγή της Νανοεπιστήμης-Νανοτεχνολογίας στην υποχρεωτική εκπαίδευση: Βιβλιογραφική επισκόπηση του περιεχομένου και σύνδεση με το νέο Πρόγραμμα Σπουδών για τις Φυσικές Επιστήμες. Στο Δ. Βαβουγιός, & Σ. Παρασκευόπουλος (Επιμ.), *8ο Πανελλήνιο Συνέδριο της Διδακτικής των Φυσικών Επιστημών και Νέων Τεχνολογιών στην Εκπαίδευση* (σσ. 658-665). Βόλος: Παιδαγωγικό Τμήμα Ειδικής Αγωγής.
- Μουσελίμης, Β. Μ., & Μπουρλίνος, Α. Β. (2018). *Φυσικοχημεία του άνθρακα*. Τμήμα Φυσικής- Πανεπιστήμιο Ιωαννίνων.
- Μπέλεση, Β. (2007). *Σύνθεση, χαρακτηρισμός νανοσύνθετων καταλυτών TiO<sub>2</sub> και εφαρμογές αυτών στην ετερογενή φωτοκαταλυτική αποικοδόμιση οργανικών ρύπων για την ανάπτυξη τεχνολογιών αντιρρύπανσης*. Ιωάννινα: Πανεπιστήμιο Ιωαννίνων, Σχολή Θετικών Επιστημών, Τμήμα Χημείας.
- Μπέλεση, Β. (2014). Παραγωγή τυπωμένων κυκλωμάτων. Στο *Ανοικτά Ακαδημαϊκά Μαθήματα στο ΤΕΙ Αθήνας: Υλικά Γραφικών Τεχνών*. ΤΕΙ Αθήνας. Ανάκτηση από <https://ocp.teiath.gr/>.
- Πέικος, Γ. (2016, Νοέμβριος). *Σχεδιασμός, ανάπτυξη και αξιολόγηση διδακτικής μαθησιακής ακολουθίας για τη διδασκαλία περιεχομένου της Νανοεπιστήμης-Νανοτεχνολογίας στο δημοτικό σχολείο*. (Μεταπτυχιακή Διατριβή, Πανεπιστήμιο Δυτικής Μακεδονίας, Παιδαγωγικό Τμήμα Δημοτικής Εκπαίδευσης, Φλώρινα) Ανάκτηση από [https://www.researchgate.net/publication/313861578\\_SCHEDIASMOS\\_ANAPTYXE\\_KAI\\_AXIOLOGESE\\_DIDAKTIKES\\_MATHESIAKES\\_AKOLOUTHIAS\\_GIA\\_TE\\_DIDASKALIA\\_PERIECHOMENOU\\_TES\\_NANOEPISTEMES\\_-\\_NANOTECHNOLOGIAS\\_STO\\_DEMOTIKO\\_SCHOLEIO](https://www.researchgate.net/publication/313861578_SCHEDIASMOS_ANAPTYXE_KAI_AXIOLOGESE_DIDAKTIKES_MATHESIAKES_AKOLOUTHIAS_GIA_TE_DIDASKALIA_PERIECHOMENOU_TES_NANOEPISTEMES_-_NANOTECHNOLOGIAS_STO_DEMOTIKO_SCHOLEIO).
- 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 (Επιμ.), *1ο Πανελλήνιο Συνέδριο με Διεθνή Συμμετοχή «Ανάπτυξη Εκπαιδευτικού Υλικού στα Μαθηματικά και τις Φυσικές Επιστήμες»*, (σσ. 327-346). Ρόδος.
- Πέικος, Γ., Μάνου, Λ., & Σπύρτου, Α. (2016). Ανάπτυξη και αξιολόγηση διδακτικής μαθησιακής σειράς για τη διδασκαλία της Νανοεπιστήμης-Νανοτεχνολογίας στο δημοτικό σχολείο. Στο Δ. Ψύλλος, Α. Μολοχίδης, & Μ. Καλλέρη (Επιμ.), *9ο Πανελλήνιο Συνέδριο Διδακτικής των Φυσικών Επιστημών και νέων Τεχνολογιών στην Εκπαίδευση-Διδασκαλία και Μάθηση στις Φυσικές Επιστήμες και την Τεχνολογία: Έρευνες, Καινοτομίες και Πρακτικές* (σσ. 279-286). Παιδαγωγικό Τμήμα Δημοτικής Εκπαίδευσης, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης.

- Πέικος, Γ., Παπαδοπούλου, Χ., & Μάνου, Λ. (2016). Ιδέες και γνώσεις των μαθητών για τη Νανοεπιστήμη-Νανοτεχνολογία στο δημοτικό σχολείο. Στο Δ. Ψύλλος, Α. Μολοχίδης, & Μ. Καλλέρη (Επιμ.), *9ο Πανελλήνιο Συνέδριο Διδακτικής Φυσικών Επιστημών και Νέων Τεχνολογιών στην Εκπαίδευση "Διδασκαλία και Μάθηση στις Φυσικές Επιστήμες και την Τεχνολογία: Έρευνες, Καινοτομίες και Πρακτικές"* (σσ. 1047-1052). Παιδαγωγικό Τμήμα Δημοτικής Εκπαίδευσης, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης.
- Πέικος, Γ., Σπύρτου, Ά., & Μάνου, Λ. (2017). Εφαρμογή και αξιολόγηση διδακτικής μαθησιακής ακολουθίας για τη διδασκαλία περιεχομένου της Νανοεπιστήμης-Νανοτεχνολογίας στο δημοτικό σχολείο. Στο Δ. Σταύρου, Α. Μιχαηλίδη, & Α. Κοκολάκη (Επιμ.), *10ο Πανελλήνιο Συνέδριο Διδακτικής των Φυσικών Επιστημών και νέων Τεχνολογιών στην Εκπαίδευση-Γεφυρώνοντας το Χάσμα μεταξύ Φυσικών Επιστημών, Κοινωνίας και Εκπαιδευτικής Πράξης*, (σσ. 802-810). Ρέθυμνο.
- Σακελλάρη, Κ. (2016). *Προσεγγίζοντας διερευνητικά φαινόμενα της κλίμακας του νάνο στο δημοτικό σχολείο*. (Πτυχιακή εργασία, Πανεπιστήμιο Δυτικής Μακεδονίας, Παιδαγωγικό Τμήμα Δημοτικής Εκπαίδευσης Φλώρινας). Ανάκτηση από <https://dspace.uowm.gr/xmlui/handle/123456789/304>
- Σπύρτου, Ά., Μάνου, Λ., & Πέικος, Γ. (2017). *Εκπαιδευτικό πακέτο: Νανοτεχνολογία στο δημοτικό σχολείο*. Πανεπιστήμιο Δυτικής Μακεδονίας, Παιδαγωγικό Τμήμα Δημοτικής Εκπαίδευσης, Εργαστήριο Εκπαίδευσης για τις Φυσικές Επιστήμες και την Αειφορία.
- Τσέτσερη, Μ., Σάλτα, Κ., & Σταύρου, Δ. (2017). Διερεύνηση της ένταξης των αλλαγών των ιδιοτήτων των υλικών σωμάτων σε επίπεδο νανοκλίμακας στο γυμνάσιο. Στο Σ. Δημήτρης, Μ. Αιμιλία, & Κ. Αθανασία (Επιμ.), *10ο Πανελλήνιο Συνέδριο Διδακτικής των Φυσικών Επιστημών και Νέων Τεχνολογιών στην Εκπαίδευση-Γεφυρώνοντας το Χάσμα μεταξύ Φυσικών Επιστημών Κοινωνίας και Εκπαιδευτικής Πράξης*, (σσ. 811-819). Ρέθυμνο.
- Χαριτίδης, Κ. Α., & Βιδάλης, Τ. Κ. (2010). *Νανοεπιστήμες και Νανοτεχνολογίες: Το αίτημα της ρύθμισης*. Αθήνα-Θεσσαλονίκη: Σακκούλα.

## Παράρτημα

### Φύλλο εργασίας 1

#### Δραστηριότητα 1: «Ορατά και αόρατα αντικείμενα»

Κολλήστε τις εικόνες που σας έχουν δοθεί στη στήλη του πίνακα που ταιριάζουν:

<i>Αντικείμενα που μπορώ να δω με γυμνό μάτι</i>	<i>Αντικείμενα που δε μπορώ να δω με γυμνό μάτι</i>

Συμπέρασμα: \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

Συμπληρώστε το συμπέρασμα χρησιμοποιώντας τις λέξεις: *αντικείμενα, μάτι, μικροσκόπιο, μακρόκοσμος, μικρόκοσμος*

## Φύλλο εργασίας 2

### Δραστηριότητα 2: «Μακρόκοσμος, μικρόκοσμος, νανόκοσμος-Όργανα παρατήρησης»

Τοποθετήστε τις εικόνες στη στήλη που ταιριάζουν, ανάλογα με το όργανο παρατήρησής τους:

Μάτι	Μεγεθυντικός φακός	Οπτικό Μικροσκόπιο (μικρά αντικείμενα)	Ηλεκτρονικό Μικροσκόπιο Σάρωσης (πολύ μικρά αντικείμενα)
Μακρόκοσμος		Μικρόκοσμος	Νανόκοσμος

Συμπέρασμα: \_\_\_\_\_

---

---

---

Συμπληρώστε το συμπέρασμα χρησιμοποιώντας τις λέξεις: *αντικείμενα, μέγεθος, οπτικό μικροσκόπιο, ηλεκτρονικό μικροσκόπιο σάρωσης, μακρόκοσμος, μικρόκοσμος, νανόκοσμος*

### Φύλλο εργασίας 3

#### Δραστηριότητα 4: «Αρωματικά μπαλόνια»

Στον παρακάτω πίνακα να αντιστοιχίσετε το μπαλόνια κάθε χρώματος με το άρωμα που θεωρείτε πως περιέχουν:

A/A	Χρώμα μπαλονιού	Άρωμα