

Κεφάλαιο 1

ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΗ ΝΑΝΟΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ

Εισαγωγή

Η νανοτεχνολογία είναι το διεπιστημονικό πεδίο που αφορά στην ανάπτυξη και τη χρήση των υλικών με προϊόντα τα οποία μπορούν να παρασκευαστούν συσκευές και παρουσιάζουν νέες ιδιότητες που είναι συνάρτηση των διαστάσεών τους. Στην επιστήμη και στην τεχνολογία, το πρόθεμα «νανο» προέρχεται από την ελληνική λέξη νάνος, και ένα νανόμετρο (nm) ισούται με ένα δισεκατομμυριοστό του μέτρου ($10^{-9} = 0,000000001$). Η νανοτεχνολογία αναφέρεται στην επιστήμη και στην τεχνολογία όπου οι δομικές μονάδες της ύλης αναπτύσσονται σε νανοκλίμακα για τη δημιουργία σύνθετων μακρομοριακών συστημάτων, ενώ νέες ιδιότητες των υλικών παρουσιάζονται λόγω της κλιμάκωσης αυτής κατά την εξέλιξή τους.

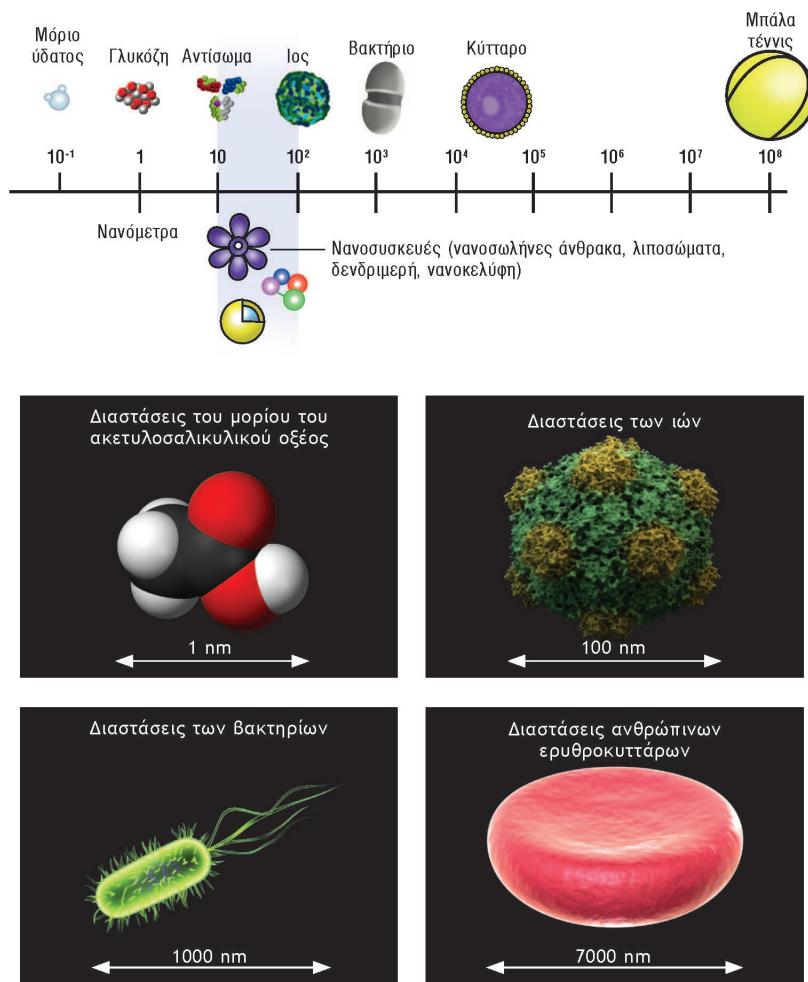
Μια ενδιαφέρουσα προσέγγιση που αφορά στο τι ορίζουμε ως νανοτεχνολογία αναφέρεται σε άρθρο του M. Saladin El Naschie στο επιστημονικό περιοδικό Chaos, Solitions and Fractals, το οποίο δημοσιεύτηκε το 2006. Σύμφωνα με τον συγγραφέα μπορούμε να ορίσουμε επιστημονικά «αβασάνιστα» ως νανοτεχνολογία την τεχνολογία η οποία αφορά σε διεργασίες (processes) που σχετίζονται με τις επιστήμες της φυσικής, της χημείας και της βιολογίας και λαμβάνουν χώρα σε διαστάσεις δισεκατομμυριοστού του μέτρου. Επίσης αναφέρει ότι θα μπορούσε να χαρακτηριστεί ως η τέχνη της παρασκευής μικροσκοπικών συσκευών που προσεγγίζουν τη μοριακή διάσταση. Μία ακόμα προσέγγιση η οποία αναφέρεται, και η οποία κατά τη γνώμη μας είναι εξαιρετικά ενδιαφέρουσα και επιστημονική, αναφέρει τη νανοτεχνολογία ως την εφαρμογή της τεχνολογίας στην γκρίζα περιοχή (grey area) μεταξύ της κλασικής μηχανικής και της κβαντομηχανικής. Η περιοχή

αυτή με βάση τους θεωρητικούς φυσικούς χαρακτηρίζεται ως **μεσοσκοπική περιοχή** (mesoscopic area) και τα συστήματα τα οποία αναπτύσσονται στην περιοχή αυτή χαρακτηρίζονται αντίστοιχα ως **μεσοσκοπικά συστήματα** (mesoscopic systems). Με βάση την παραπάνω προσέγγιση η θεωρητική φυσική προσέγγιζει αυτό που ονομάζουμε **νανόκοσμο** (nanoworld). Ο όρος νανοτεχνολογία με βάση την ανακοίνωση της Επιτροπής των Ευρωπαϊκών Κοινοτήτων *Προς μια Ευρωπαϊκή Στρατηγική για τη Νανοτεχνολογία* [Βρυξέλλες, 12.5.2004, COM (2004) 338 τελικό] χρησιμοποιείται ως όρος περιληπτικός και καλύπτει τους κλάδους των νανοεπιστημάτων. Οι νανοεπιστήμες αναφέρονται στην κατανόηση των αλληλεπιδράσεων των υλικών στη μελέτη και τη μέτρηση αυτών σε κλίμακα **νανο**. Η φυσική, η χημεία, η βιολογία, τα μαθηματικά, η επιστήμη των υλικών, η φαρμακευτική και η μηχανική συμμετέχουν στο επιστημονικό και το ερευνητικό φάσμα των νανοεπιστημάτων που μπορεί να χαρακτηριστεί ως η διεπιστημονική προσέγγιση των εφαρμογών της νανοτεχνολογίας.

Με βάση το National Nanotechnology Initiative (NNI) (<http://www.nano.gov/>), η νανοτεχνολογία σχετίζεται με τον έλεγχο των υλικών διαστάσεων 1–100 nm, όπου τα φαινόμενα είναι μοναδικά όσον αφορά στη συμπεριφορά τους και μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε νέες εφαρμογές ("*Nanotechnology, is the understanding and control of matter at dimensions of roughly 1–100 nm, where unique phenomena enable novel applications*"). Η διάσταση νάνο δεν είναι η ελάχιστη μικρότερες διαστάσεις της ύλης είναι: η διάσταση σε Angstrom (0,1 nm) και τα προθέματα *pico, femto, atto* και *zepto*, που αφορούν στην 1/1.000 μαθηματική υποβάθμιση των διαστάσεων της ύλης ([Εικόνα 1.1](#)) από τη διάσταση νάνο.

Νανομετρολογία

Ουπολογισμός της μάζας των νανοσυστημάτων γίνεται με νανοσυσκευή με ικανότητα υπολογισμού της μάζας, η οποία είναι τόσο μικρή ώστε να διακρίνεται μόνο στο ηλεκτρονικό μικροσκόπιο. Ερευνητές από το Καταλανικό Ινστιτούτο Νανοτεχνολογίας στη Βαρκελώνη, στην Ισπανία, δημιούργησαν τη μικρότερη και ακριβέστερη νανοσυσκευή του κόσμου η οποία είναι τόσο ευαίσθητη ώστε θα μπορούσε να ζυγίσει ακόμη και πρωτόνια. Το δείγμα τοποθετείται πάνω στον κεντρικό νανοσωλήνα της νανοσυσκευής η οποία ονομάζεται **νανομηχανικός αισθητήρας μάζας**. Παρόμοιες νανοσυσκευές είχαν χρησιμοποιηθεί στο παρελθόν για να μετρηθεί η μάζα μεμονωμένων κυττάρων, ιών ή ακόμα και μεμονωμένων μο-



Εικόνα 1.1 Σύγκριση των διαστάσεων συνήθων νανοσυστημάτων με τις διαστάσεις βιομορίων, κυττάρων και αντικειμένων.

ρίων. Η εφαρμογή νέου αισθητήρα στη νανοσυσκευή αυξάνει την εναισθησία, καθώς μπορεί να καταγράφει πολύ μικρότερες μεταβολές της μάζας, ακόμα και $1,7 \text{ yoctogram}$ ($1,7 \times 10^{-24}$ γραμμάρια), περίπου όσο η μάζα ενός πρωτονίου. Όπως εξηγούν οι ερευνητές σε ανακοίνωσή τους στην επιστημονική επιθεώρηση *Nature Nanotechnology*, ο αισθητήρας βασίζεται σε έναν νανοσωλήνα άνθρακα μήκους 150 νανομέτρων.

Αυτός ο εξαιρετικά ανθεκτικός νανοσωλήνας ουσιαστικά συμπεριφέρεται όπως μια χορδή κιθάρας, η οποία όμως ταλαντώνεται στην εξαιρετικά υψηλή συχνότητα των 2 GHz (δύο δισεκατομμύρια κύκλοι το δευτερόλεπτο).

Τα αντικείμενα που τοποθετούνται πάνω στον νανοσωλήνα για να ζυγιστούν αλλάζουν την ιδιοσυχνότητά του, αναγκάζουν δηλαδή τον νανοσωλήνα να δονείται σε διαφορετική συχνότητα. Μετρώντας τη μεταβολή της συχνότητας, ο χρήστης του αισθητήρα μπορεί να υπολογίσει με μεγάλη ακρίβεια τη μάζα του δείγματος.

Για να γίνει βέβαια αυτό ο αισθητήρας πρέπει να λειτουργεί σε αυστηρά ελεγχόμενες συνθήκες: ο νανοσωλήνας πρέπει να είναι απόλυτα καθαρός στους -289°C , ενώ ο χώρος όπου τοποθετείται το δείγμα πρέπει να βρίσκεται σε κενό αέρα και να διατηρείται απαλλαγμένος από μηχανικές και ηλεκτρικές μεταβολές. Χρησιμοποιώντας στην πράξη την μικροσκοπική αυτή νανοσυσκευή που κατασκεύασαν οι ερευνητές του Ισπανικού Ινστιτούτου, μπόρεσαν όχι μόνο να ζυγίσουν εξαιρετικά μικρά φορτία, αλλά και να μελετήσουν αλληλεπιδράσεις των φορτίων αυτών με τον νανοσωλήνα άνθρακα. Για παράδειγμα, μέτρησαν τον ρυθμό με τον οποίο η επιφάνεια του νανοσωλήνα απορροφά μόρια ναφθαλίνης.

Στο μέλλον, οι ερευνητές πιστεύουν ότι αισθητήρες ανάλογης ευαισθησίας θα μπορούσαν να βελτιώσουν ερευνητικά πεδία όπως αυτό της φασματομετρίας μάζας, της μαγνητομετρίας, της νανομετρολογίας και της επιστήμης των επιφανειών.

Μάλιστα ο αισθητήρας θα μπορούσε να γίνει ακόμα πιο ευαίσθητος, εφόσον οι δημιουργοί του καταφέρουν να δημιουργήσουν μια μικροσκοπική υποδοχή, έτσι ώστε το δείγμα να συνδέεται σε μια συγκεκριμένη θέση του νανοσωλήνα και να περιορίζει έτσι τις διακυμάνσεις της συχνότητας.

Σύντομη ιστορική αναδρομή

Ο όρος νανοτεχνολογία χαρακτηρίζεται από μεγάλη ευρύτητα και όντας πολύ γενικός όρος μπορεί να περιγράψει οτιδήποτε συμβαίνει στις διαστάσεις της τάξης του νανόμετρου. Επομένως, μπορεί να χωριστεί σε πιο εξειδικευμένους τομείς και κλάδους όπως αυτούς της νανοηλεκτρονικής, των νανοϋλικών και άλλων. Οι εφαρμογές είναι αναριθμητες, ενώ οι επιπτώσεις γίνονται αντιληπτές σε πολλαπλά επίπεδα, κατά κύριο λόγο στον οικονομικό τομέα επηρεάζοντας βιομηχανίες και οικονομίες αλλά και στον κοινωνικό τομέα βελτιώνοντας σημαντικά το βιοτικό μας επίπεδο. Η προέλευση και η ανάπτυξη της νανοτεχνολογίας είναι ασαφής. Οι πρώτοι νανοτεχνολόγοι μπορεί και να ήταν τεχνίτες γυαλιού του Μεσαίωνα που χρησιμοποιούσαν καμίνια για την επεξεργασία του. Βέβαια οι ναλοτεχνίτες δεν καταλάβαιναν γιατί η επεξεργασία του χρυσού δημιουργούσε τα

χρώματα. Η διαδικασία της κατασκευής νανοσυστημάτων και νανοδομών ειδικά στην παραγωγή κβαντικών νανοκουνκίδων χρυσού (quantum dots) χρησιμοποιούνταν στις Βικτωριανές και τις μεσαιωνικές εκκλησίες, που ήταν διάσημες για τα υπέροχα βιτρό στα παράθυρά τους. Το ίδιο ισχύει και για διάφορα φράλτα που βρέθηκαν σε αρχαία τάξιδια.

Οι διάφορες χρωματικές παραλλαγές καθώς και συμπεριφορές των υλικών που χρησιμοποιούνται σε διάφορα νανοσυστήματα εξαρτώνται από το γεγονός ότι τα χαρακτηριστικά των υλικών σε νανοδιαστάσεις είναι διαφορετικά από τα χαρακτηριστικά τους σε διαστάσεις μικροκλίμακας. Τα επιτέγματα των φυσικών επιστημών (φυσική, βιολογία, χημεία), αλλά και οι εξελίξεις στην τεχνολογία και κυρίως η ανάπτυξη της επιστήμης των υλικών, βοήθησαν να συγκεντρωθούν πληροφορίες σχετικές με την κατανόηση της νανοτεχνολογίας. Οι εξελίξεις αυτές αποδειχθήκαν αναγκαίες για τον προσανατολισμό, την επιλογή και την αποτελεσματικότητα των εφαρμογών του τομέα αυτού.

Η πρώτη επιστημονική αναφορά στη νανοτεχνολογία (χωρίς τη χρήση του συνόματος «νανοτεχνολογία») έγινε σε μια ομιλία που έκανε ο Richard Feynman ([Εικόνα 1.2](#)) το 1959, με τίτλο «Υπάρχει άπλετος χώρος στο βάθος» ("There's plenty of room at the bottom") που ουσιαστικά προανήγγειλε τη νανοτεχνολογία πολλές δεκαετίες πριν αρχίσει η χρήση του προθέματος νανο. Διέκρινε επίσης τις μεθόδους κατασκευής των νανοδομών:

- από επάνω προς τα κάτω (Top down technology)
- από κάτω προς τα επάνω (Bottom up technology).

Οι από επάνω προς τα κάτω ήταν αυτές που εφαρμόζονται και σήμερα στη βιομηχανία. Από την άλλη πλευρά οι μέθοδοι από κάτω προς τα επάνω σχετίζονται με τον σχηματισμό δομών ξεκινώντας από άτομα ή μόρια μέχρι τον σχηματισμό του συστήματος. Η μεγάλη πρόκληση στη μέθοδο αυτή είναι η δυνατότητα κατασκευής και αξιολόγησης δομών, όπως ακριβώς η φύση τις δημιουργεί, σε διαστάσεις της τάξης των νανομέτρων. Είναι φανερό ότι τα φυσικά φαινόμενα στις διαστάσεις αυτές είναι

εκείνα τα οποία καθοδηγούν την έρευνα και την ανάπτυξη, μιας και η ίδια η συμπεριφορά της φύσης το απαιτεί. Η αξιολόγηση των ιδιοτήτων των νέων αυτών υλικών και η εφαρμογή τους στην ανθρώπινη καθημερινότητα, και κυρίως στον τομέα της υγείας, καθιστούν



Εικόνα 1.2 Richard P. Feynman.