



ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ
ΣΧΟΛΗ ΘΕΤΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΧΗΜΕΙΑΣ

Διαπανεπιστημιακό, Διατμηματικό
Πρόγραμμα Μεταπτυχιακών Σπουδών
Διδακτική της Χημείας και Νέων Εκπαιδευτικών
Τεχνολογιών

Νανοτεχνολογία και Πράσινη Χημεία



**Παππάς Μιχάλης – Φυσικός
Πιτσιδήμου Κατερίνα - Χημικός**

Επιβλέποντες
Α.Ι. Μαρούλης
Κ.Π. Χατζηαντωνίου-Μαρούλη

Πρόλογος

Η παρούσα εργασία εκπονήθηκε από τους Παππά Μιχάλη-Φυσικό και Πιτσιδήμου Κατερίνα-Χημικό στα πλαίσια του μαθήματος Χημεία, Χημική Τεχνολογία και Καθημερινή Ζωή του Διαπανεπιστημιακού – Διατμηματικού Προγράμματος Μεταπτυχιακών Σπουδών « Διδακτική της Χημείας και Νέες Εκπαιδευτικές Τεχνολογίες» (Δι.Χη.Ν.Ε.Τ.) κατά το χειμερινό εξάμηνο του πανεπιστημιακού έτους 2008-2009, υπό την επίβλεψη και καθοδήγηση της καθηγήτριας του Αριστοτελείου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης, κ. Κ. Χατζηαντωνίου-Μαρούλη.

Θέλουμε να ευχαριστήσουμε θερμότατα όλους όσους συνέβαλλαν στην πραγματοποίηση της εργασίας αυτής.

**Παππάς Μιχάλης
Πιτσιδήμου Κατερίνα
Μάρτιος 2009**

Περίληψη

Η Νανοτεχνολογία αφορά στην επεξεργασία και στη δημιουργία αντικειμένων μεγέθους ενός δισεκατομμυριοστού του μέτρου. Τα υλικά της νανοκλίμακας παρουσιάζουν πολλά συναρπαστικά χαρακτηριστικά, τα οποία εμφανίζουν νέα ενεργειακά, θεραπευτικά, ηλεκτρονικά και άλλα πλεονεκτήματα.

Με το συνδυασμό της Πράσινης Χημείας, της Πράσινης Μηχανικής και της Νανοτεχνολογίας προκύπτει ένα, νέο πολλά υποσχόμενο επιστημονικό πεδίο, που καλείται πράσινη νανοτεχνολογία ή αλλιώς “Green Nano”. Η Πράσινη Νανοτεχνολογία αποτελεί πολύ χρήσιμο εργαλείο στα χέρια των ερευνητών και προβλέπεται ότι θα δώσει λύσεις σε αρκετά και επίκαιρα προβλήματα, που αφορούν στο περιβάλλον, στις πηγές ενέργειας και σε άλλα σοβαρά ζητήματα, που έχουν προκύψει τα τελευταία κυρίως χρόνια.

Σε αυτήν την εργασία παρουσιάζονται κάποιοι τομείς όπως πράσινη νανοηλεκτρονική, πράσινη σύνθεση νανουλικών, πράσινες διαδικασίες νανοπαρασκευής, νανοβελτιωτική πράσινη τεχνολογία, νανοβελτιωτικές ενεργειακές τεχνολογίες, νανοβελτιωτικές τεχνολογίες καθαρισμού και νανοβελτιωτικές πράσινες τεχνολογίες στη βιομηχανία.

Ακολουθούν προτάσεις πράσινης νανοπολιτικής και στο τέλος της εργασίας γίνεται λόγος για ένα πολύ σημαντικό θέμα που αναφέρεται και αφορά στην νανοτεχνολογία και στην ηθική, καθώς και κατά πόσο μπορεί η νανοτεχνολογία να είναι πραγματικά πράσινη.

Όμως όπως όλες οι νέες τεχνολογίες που βρίσκονται σε πρώιμο στάδιο ανάπτυξης, εκτός από τις άπειρες υποσχέσεις τους ενέχουν φόβους και ανησυχίες (τομέας υγείας, νομικά, ηθικά και πολιτικά ζητήματα). Εξαιτίας των εύλογων ανησυχιών έχουν δει το φως της δημοσιότητας προσπάθειες πολλών ερευνητών προβολής των προβλημάτων και προσπαθειών ελαχιστοποίησης των αρνητικών συνεπειών.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

Πρόλογος

Περίληψη

Πίνακας Περιεχομένων

1. Πράσινη – Βιώσιμη Χημεία (Green – Sustainable Chemistry) Πράσινη Μηχανική (Green Engineering)

1.1 Πράσινη – Βιώσιμη Χημεία (Green – Sustainable Chemistry)

- 1.1.1 Τι είναι Βιώσιμη Ανάπτυξη
- 1.1.2 Τι είναι Πράσινη – Βιώσιμη Χημεία
- 1.1.3 Στόχοι της Πράσινης Χημείας
- 1.1.4 Αρχές της Πράσινης Χημείας
- 1.1.5 Προώθηση της Πράσινης Χημείας από επιστημονικές οργανώσεις μη κυβερνητικούς οργανισμούς και Πανεπιστήμια

1.2 Πράσινη Μηχανική (Green Engineering)

- 1.2.1 Τι είναι Πράσινη Μηχανική
- 1.2.2 Ο ρόλος των τεχνικών Βιομηχανίας (Χημικών / Χημικών Μηχανικών)
- 1.2.3 Κατάλογος ερωτήσεων για τον έλεγχο και την ασφάλεια χημικο-τεχνολογικών παραγωγικών διαδικασιών
- 1.2.4 Οι 12 αρχές της Πράσινης Μηχανικής
- 1.2.5 Οι 9 αρχές της Πράσινης Μηχανικής

2. Νανοτεχνολογία (Nanotechnology)

- 2.1 Τι είναι
- 2.2 Ο Χώρος εργασίας της
- 2.3 Η Εμφάνισή της
- 2.4 Η Νανοτεχνολογία σήμερα
 - 2.4.1 Η Νανοτεχνολογία στην Ελλάδα
- 2.5 Τομείς εφαρμογών
 - 2.5.1 Ειδικές εφαρμογές
- 2.6 Οι Ανησυχίες που εγείρει

3. Πράσινη Νανοτεχνολογία (Green Nanotechnology)

- 3.1 Τι είναι
- 3.2 Σκοποί της
- 3.3 Σκελετός Πράσινης Νανοτεχνολογίας
- 3.4 Υποσχέσεις Πράσινης Νανοτεχνολογίας
- 3.5 Εργαστηριακή έρευνα στην Πράσινη Νανοτεχνολογία
 - 3.5.1 Εισαγωγή
 - 3.5.2 Πράσινη Νανοηλεκτρονική
 - 3.5.3 Πράσινη Σύνθεση Νανοϋλικών
 - 3.5.4 Πρασινες Διαδικασίες Νανο-παρασκευής
 - 3.5.5 Νανο-βελτιωτική Πράσινη Τεχνική
 - 3.5.6 Νανο-βελτιωτικές ενεργειακές τεχνικές
 - 3.5.7 Νανο-βελτιωτικές τεχνικές καθαρισμού
 - 3.5.8 Νανο-βελτιωτικές πράσινες τεχνικές στη βιομηχανία
- 3.6 Εφαρμογές Πράσινης Νανοτεχνολογίας
- 3.7 Προτάσεις Πράσινης Νανοπολιτικής
- 3.8 Μπορεί η νανοτεχνολογία να είναι Πράσινη;
- 3.9 Συμπεράσματα

4. Παράρτημα

5. Βιβλιογραφία

ΠΡΑΣΙΝΗ – ΒΙΩΣΙΜΗ ΧΗΜΕΙΑ
(GREEN – SUSTAINABLE CHEMISTRY)

ΠΡΑΣΙΝΗ ΜΗΧΑΝΙΚΗ
(GREEN ENGINEERING)

1.1.ΠΡΑΣΙΝΗ – ΒΙΩΣΙΜΗ ΧΗΜΕΙΑ (GREEN – SUSTAINABLE CHEMISTRY

1.1.1.Βιώσιμη Ανάπτυξη

ΑΕΙΦΟΡΟΣ ΑΝΑΠΤΥΞΗ

Η **Αειφόρος ανάπτυξη** ή **Βιώσιμη ανάπτυξη** αναφέρεται στην οικονομική ανάπτυξη που σχεδιάζεται και πραγματοποιείται σε συνδυασμό με την προστασία του περιβάλλοντος. Επίσης νοείται και ως η ανάπτυξη των παραγωγικών μηχανισμών της οικονομίας παράλληλα με τη δημιουργία υποδομών για μία βιώσιμη στάση απέναντι στο φυσικό περιβάλλον, (όπως ορίζουν παραδοσιακές επιστήμες όπως η Γεωγραφία). Έχουν γίνει προτάσεις να αντικατασταθεί το μάθημα της γεωγραφίας στην εκπαίδευση από αυτό της αειφόρου ανάπτυξης. Σημείο αναφοράς για τις εξελίξεις στη μελέτη της οικολογικά ευαίσθητης ανάπτυξης αποτελεί το πρωτόκολλο του Κιότο, που υπογράφηκε το 1992. Ορισμένες από τις τάσεις και τα ζητήματα που απασχολούν τη βιώσιμη ανάπτυξη τα επόμενα χρόνια (βάσει των συζητήσεων του 15ου συνεδρίου αειφόρου ανάπτυξης και του Ευρωπαϊκού youth forum) είναι: Προώθηση χρήσης καθαρών μορφών μετακίνησης, «Βιωσιμότερη» αναθεώρηση της Κοινής Αγροτικής Πολιτικής, Labeling προϊόντων, βιοτεχνολογία, εξάλειψη φυλετικών-σεξιστικών διακρίσεων στον εργασιακό τομέα, κ.ά.

Η δημιουργία των εννοιών ανάπτυξη, αειφορία και βιώσιμη ανάπτυξη

Η έννοια της ανάπτυξης δεν υπήρχε από τα πρώτα ιστορικά χρόνια αλλά διαμορφώθηκε σταδιακά μέσα από το πέρασμα διαφόρων πολιτισμών. Οι πρώτες ιδέες περί προόδου διαμορφώθηκαν κατά την Κλασική Ελληνο-Ρωμαϊκή περίοδο, αλλά ήταν η Εβραϊκή και η Χριστιανική θεολογία, που δίνοντας έκφραση στην γραμμική αντίληψη του χρόνου ως μία κατευθυνόμενη διαδοχή γεγονότων, άλλαξε τον τρόπο σκέψης σχετικά με την ιστορία και την πρόοδο (Du Pisani, 2006). Χρησιμοποιώντας ένα σχήμα

έξι σταδίων της ανθρώπινης ιστορίας ο Αυγουστίνος (στην Πόλη του Θεού) παρουσίασε την πρόοδο του ανθρώπινου είδους με όρους διαδοχικών, αναδυόμενων σταδίων.

Η Χριστιανική φιλοσοφία συνέβαλε στην ιδέα της προόδου την αντίληψη της σταδιακής αποκάλυψης ενός σχεδιαστικού προτύπου από το ξεκίνημα της ανθρώπινης ιστορίας, και την γενική ιδέα της ενδεχόμενης τελειότητας της ανθρωπότητας στον επόμενο κόσμο. Στην μεσαιωνική περίοδο η Χριστιανική αντίληψη της προόδου συμπεριέλαβε χλιαστικές, ουτοπικές ιδέες, και μία αίσθηση της σημασίας της βελτίωσης σε αυτόν τον κόσμο στα πλαίσια της προετοιμασίας για τον επόμενο. Κατά τον 13ο αιώνα εδραιώθηκαν δύο κρίσιμα νήματα της Ευρωπαϊκής αντίληψης για την ανθρώπινη πρόοδο: επίγνωση της σωρευτικής προόδου του πολιτισμού και η πίστη σε μία μελλοντική χρυσή εποχή αρετής σε αυτήν την γη (Du Pisani, 2006).

Η έννοια της αειφορίας προέρχεται από τη δασολογική ορολογία και στη βιβλιογραφία θεωρείται ως εφευρέτης της έννοιας ο σάξωνας δασολόγος H. von Carlowitz ο οποίος το 1713 χρησιμοποίησε πρώτος την έκφραση "αειφόρος" στην ακόλουθη φράση: «Η τέχνη, η επιστήμη και το καθεστώς αυτής της χώρας βασίζεται στη δυνατότητα διατήρησης και ανάπτυξης του ξυλώδους κεφαλαίου με τέτοιο τρόπο, ώστε να επιτευχθεί μια σταθερή, μόνιμη και αειφορική εκμετάλλευση του, διότι αυτό είναι μια απαραίτητη προϋπόθεση χωρίς την οποία δεν μπορεί η χώρα να υπάρξει». Η έννοια εμφανίζεται σαν επίθετο και τονίζει τη διάρκεια μιας επίδρασης ή μιας επιρροής, ενώ η λέξη «αειφόρος» δεν προϋπήρχε στη διάλεκτο των Γερμανόφωνων χωρών. Ειδικότερα, ετυμολογικά, το ουσιαστικό «αειφορία» προέρχεται από το διαρκής, συνεχής, σταθερός και σημαίνει «κατακράτηση» δηλαδή αυτό που μένει πίσω» (Καραμανώλης et al., 1998).

Η έννοια της βιώσιμης ανάπτυξης και η σημασία που της αποδίδεται σήμερα διαμορφώθηκε μόλις τις τελευταίες δεκαετίες του 20ου αιώνα. Προέκυψε από μία στροφή στην αντίληψη των πραγμάτων, η οποία αρχικά εκφράστηκε ως ανησυχία για το περιβάλλον (και τις επιπτώσεις που έχει η υποβάθμιση του στην υγεία και στην ποιότητα ζωής των ανθρώπων αλλά και σε αυτή την οικονομική ανάπτυξη) και ως συνειδητοποίηση ότι οι φυσικοί πόροι έπρεπε να διατηρηθούν και για τις επόμενες γενεές. Η πετρελαϊκή κρίση και η οικονομική ύφεση της δεκαετίας της δεκαετίας του '70 δημιούργησαν στην ουσία τις πρώτες σοβαρές αμφιβολίες για δυνατότητα των

οικονομιών να μεγεθύνονται απεριόριστα, θέτοντας έτσι επί τάπητος το θέμα της σπανιότητας των φυσικών πόρων.

Αειφόρος ή βιώσιμη ανάπτυξη

Η αειφόρος ανάπτυξη - ή ορθότερα ή βιώσιμη ανάπτυξη-μπορεί να περιγραφεί σαν μία θεωρία “επιστροφής του ανθρώπου στη φύση” και ακολουθεί έναν αιώνα όπου κυριάρχησε η θεωρία ότι η εθνική πρόοδος επιτυγχάνεται μόνο μέσα από την έντονη βιομηχανοποίηση, το εμπόριο και την αστικοποίηση. Αντιλαμβάνεται τις φυσικές πρώτες ύλες-συμπεριλαμβανομένου και του συστήματος διατήρησης ζωής του Πλανήτη - σαν σημαντικά κεφάλαια, των οποίων η ποσότητα και παραγωγικότητα πρέπει να διατηρηθούν σαν θεμελιώδη συνθήκη για την ανθρώπινη πρόοδο κι ανάπτυξη.

Με δεδομένα τα προβλήματα που έχουμε ήδη δημιουργήσει στο Πλανητικό Οικοσύστημα, η Τεχνολογία καλείται πλέον σήμερα όχι να οδηγήσει στην εντατική αξιοποίηση των πλουτοπαραγωγικών πηγών, αλλά στη περιβαλλοντική βελτίωση μέσα από “καθαρότερες” παραγωγικές διαδικασίες, καθώς και “καθαρότερη” κατανάλωση από τον τελικό χρήστη των παραγόμενων από αυτές προϊόντων.

Ορισμός της Βιώσιμης Ανάπτυξης

Σκεπτόμενοι σε γεωλογική ή γαλαξιακή χρονολογική κλίμακα, η ζωή σε αυτόν τον πλανήτη δεν είναι πραγματικά αειφόρος και βιώσιμη επειδή εξαρτάται αποκλειστικά από την ενέργεια του Ήλιου. Όμως όπως όλα τα άστρα καίγονται, έτσι κι αυτός κάποια στιγμή θα καταρεύσει και τελικά η εντροπία θα κυριαρχήσει. Οι λέξεις «αειφορία» και «βιωσιμότητα» λοιπόν είναι τόσο γενικές και δέχονται τόσες πολλές ερμηνείες, που τελικά ο ορισμός τους καταλήγει να εξαρτάται κάθε φορά από την άποψη των ατόμων που τις σχολιάζουν ή ερωτώνται για αυτές. Το Εργαστήριο Τοπικής και Νησιωτικής Ανάπτυξης του Πανεπιστημίου Αιγαίου, στα πλαίσια της ανάλυσης του για το πρόγραμμα ISTOS (ETNA, 2005) διερεύνησε την ιστορική πορεία που οδήγησε στην σημερινή κατάσταση και ανέλυσε τους διάφορους ορισμούς. Μεταξύ των άλλων αναφέρει πως μέχρι και σήμερα δεν υπάρχει κοινά αποδεκτός ορισμός της έννοιας της βιώσιμης ανάπτυξης.

Ενδεικτικοί ορισμοί της βιώσιμης ανάπτυξης

Βιώσιμη ανάπτυξη είναι η βελτίωση της ποιότητας της ζωής μέσα στα πλαίσια της φέρουσας ικανότητας των υποστηρικτικών οικοσυστημάτων (IUCN, UNEP and WWF, 1991).

Βιώσιμη είναι η κοινωνία που μπορεί να υπάρχει για γενεές και γενεές, που μπορεί να βλέπει αρκετά μακριά, που είναι αρκετά ευέλικτη και σοφή, ώστε να μην υποθάλπει ούτε τα φυσικά, ούτε τα κοινωνικά της υποστηρικτικά συστήματα (Meadows et al., 1995).

Βιώσιμη ανάπτυξη σημαίνει να βασίζονται οι αναπτυξιακές και περιβαλλοντικές πολιτικές σε μία ανάλυση κόστους-οφέλους και σε μία προσεκτική οικονομική ανάλυση που θα ενδυναμώνει την περιβαλλοντική προστασία και θα οδηγεί σε αυξανόμενα και διατηρήσιμα επίπεδα ευημερίας (World Bank, 1992).

Το 1972 η Ομάδα της Ρώμης (Club of Rome) εξέδωσε την αναφορά **Τα Όρια στη Μεγέθυνση** (The Limits to Growth) για την κατάσταση του φυσικού περιβάλλοντος του πλανήτη. Η αναφορά ενστερνιζόταν ότι η κακή κατάσταση των πεπερασμένων πόρων ήταν το αποτέλεσμα της εκθετικής μεγέθυνσης του παγκόσμιου πληθυσμού, της εξάντλησης των πόρων, και της βιομηχανικής ρύπανσης (Mikolajuk and Gar-On Yeh, 2000). Την ίδια χρονιά, στη γενική Σύνοδο της Διεθνούς Ένωσης για τη Διατήρηση της Φύσης και των Φυσικών Πόρων (IUCN) δινόταν έμφαση σε θέματα διατήρησης και ανάπτυξης. Η Διεθνής ένωση σε συνεργασία με το Περιβαλλοντικό Πρόγραμμα των Ηνωμένων Εθνών (UNEP) και το Παγκόσμιο Ταμείο για την Άγρια Φύση (WWF) είχε αρχίσει να διαμορφώνει την ιδέα μίας στρατηγικής προσέγγισης για τη διατήρηση του περιβάλλοντος από το 1975.

Το 1972 το συνέδριο των Ηνωμένων Εθνών (HE) για το Ανθρώπινο Περιβάλλον αποτέλεσε ένα σημαντικό βήμα στην ανάπτυξη της έννοιας της βιώσιμης ανάπτυξης. Αν και η σύνδεση ανάμεσα στα περιβαλλοντικά και στα αναπτυξιακά θέματα δεν ήταν έντονη, υπήρξαν ενδείξεις ότι η μορφή της οικονομικής ανάπτυξης θα έπρεπε να μεταβληθεί ή να αλλάξει. Στα χρόνια που ακολούθησαν, η ορολογία εξελίχθηκε σε έννοιες όπως περιβάλλον και ανάπτυξη, ανάπτυξη χωρίς καταστροφή, και περιβαλλοντικά υγιής ανάπτυξη. Τελικά, ο όρος οίκο-ανάπτυξη εμφανίστηκε στην

επιθεώρηση του Περιβαλλοντικού Προγράμματος των ΗΕ το 1978. Μέχρι τότε, είχε αναγνωριστεί παγκόσμια ότι οι περιβαλλοντικές και οι αναπτυξιακές ιδέες έπρεπε να λαμβάνονται υπόψη παράλληλα (Mebratu, 1998).

Η έννοια της βιώσιμης ανάπτυξης πρωτοεμφανίστηκε το 1980 στην πρώτη Παγκόσμια Στρατηγική για την Διατήρηση η οποία δημοσιεύτηκε από την Παγκόσμια Ένωση Διατήρησης (World Conservation Union) και η οποία αναγνώριζε ως στόχους τη διατήρηση των βασικών οικολογικών διαδικασιών, τη διαφύλαξη της γενετικής ποικιλότητας και βιώσιμη χρήση των πόρων (Adams, 1996). Σύμφωνα με αυτό τον ορισμό, βιώσιμη ανάπτυξη είναι η διατήρηση των απαραίτητων οικολογικών διαδικασιών και συστημάτων υποστήριξης της ζωής, η διατήρηση της γενετικής ποικιλότητας και η βιώσιμη εκμετάλλευση των ειδών και των οικοσυστημάτων (European Commission Secretariat General, 2004). Όπως είναι προφανές ο ορισμός αυτός έδινε έμφαση στην ανάγκη διατήρησης ενός κρίσιμου φυσικού κεφαλαίου και στην διατήρηση της βιοποικιλότητας.

Αργότερα, η Παγκόσμια Επιτροπή για το Περιβάλλον και την Ανάπτυξη όρισε πως βιώσιμη ανάπτυξη είναι αυτή που ικανοποιεί τις ανάγκες του παρόντος χωρίς να κάνει συμβιβασμούς ως προς την ικανότητα των μελλοντικών γενεών να ικανοποιήσουν τις δικές τους (World Commission on Environment and Development, 1987). Ο ορισμός αυτός είναι περισσότερο ανθρωποκεντρικός καθώς αναφέρεται στην ικανοποίηση των ανθρωπίνων αναγκών, χωρίς να γίνεται σαφής αναφορά στην προστασία του περιβάλλοντος και προσπαθεί να ξεπεράσει την παλιά διχογνωμία ανάμεσα στους υποστηρικτές της ανάπτυξης και στους υποστηρικτές της περιβαλλοντικής διατήρησης. Σύμφωνα με τον ορισμό αυτό η βιώσιμη ανάπτυξη παρέχει ένα πλαίσιο για την ενσωμάτωση των περιβαλλοντικών πολιτικών στις αναπτυξιακές στρατηγικές ξεπερνώντας με αυτό τον τρόπο την αντίληψη πως η περιβαλλοντική διατήρηση μπορεί να επιτευχθεί μόνο σε βάρος της οικονομικής ανάπτυξης. Ο ορισμός αυτός σηματοδοτεί την πολιτική απαρχή της έννοιας της βιώσιμης ανάπτυξης.

Ως τα μέσα της δεκαετίας του '90 και άλλες τροποποιήσεις που αφορούσαν στον ορισμό της βιώσιμης ανάπτυξης πραγματοποιήθηκαν (αυξανόμενη εστίαση σε κοινωνικά θέματα, απαίτηση για ταυτόχρονη επίτευξη οικονομικών, κοινωνικών και περιβαλλοντικών αντικειμενικών στόχων). Αυτές οι τροποποιήσεις εκφράστηκαν επίσημα στην Διάσκεψη των Ηνωμένων Εθνών στο Ρίο το 1992, στην οποία πάνω από

170 χώρες δεσμεύτηκαν πως η έννοια της βιώσιμης ανάπτυξης αποτελεί τη βασική ιδέα για τη μελλοντική τους ανάπτυξη, υπογράφοντας την Agenda 21 και τη Διακήρυξη του Ρίο για το Περιβάλλον και την Ανάπτυξη. Η Agenda 21 ήταν αποτέλεσμα μίας εκτενούς ανάλυσης του τι χρειάζεται για να επιτευχθεί η βιώσιμη ανάπτυξη. Τα 40 κεφάλαιά της πάνω σε περιβαλλοντικά, οικονομικά, κοινωνικά θέματα και θέματα οργάνωσης περιέχουν οδηγίες για την ανάπτυξη διαδικασιών λήψης αποφάσεων με στόχο τη βιωσιμότητα.

Όσον αφορά στην υιοθέτηση της βιώσιμης ανάπτυξης από την Ευρωπαϊκή Ένωση, υπήρξε επίσης μία 'εξελικτική' πορεία της έννοιας. Το περιβάλλον απέκτησε αυτοτελή νομική κατοχύρωση το 1987 με την Ενιαία Ευρωπαϊκή Πράξη και συγκεκριμένα με την προσθήκη των Άρθρων 130Π, 130Ρ και 130Σ (Κορκοβέλος, 1997). Στο Άρθρο 2 της Συνθήκης του Μάαστριχ (1992) περιγράφεται ως κύρια αποστολή της Κοινότητας η προαγωγή της «αρμονικής» και «ισόρροπης» ανάπτυξης των οικονομικών δραστηριοτήτων. Μπορεί η αρχή της βιώσιμης ανάπτυξης να μην αναφέρεται ρητά αλλά σαφώς περιγράφεται. Ωστόσο πρέπει να αναφερθεί πως δεν υπήρξε συσχέτιση της έννοιας της βιώσιμης ανάπτυξης με την κοινωνική διάσταση.

Στο Άρθρο 2 της Συνθήκης του Άμστερνταμ (1997) γίνεται λόγος για «αρμονική ισόρροπο και αειφόρο ανάπτυξη των οικονομικών δραστηριοτήτων» (European Communities, 1999). Έτσι η βιώσιμη ανάπτυξη έπαυσε να θεωρείται αποκλειστικά περιβαλλοντική έννοια και αναγνωρίστηκε πως πρέπει να υπάρξει στενή συσχέτιση ανάμεσα στην οικονομική ανάπτυξη, στην κοινωνική συνοχή και στην περιβαλλοντική προστασία στα πλαίσια της στρατηγικής της ΕΕ για τη βιώσιμη ανάπτυξη (Commission of the European Communities, 2001). Από την πλευρά των οικονομικών του περιβάλλοντος, το περιβάλλον και οι φυσικοί πόροι τους οποίους αυτό περιλαμβάνει μπορεί να θεωρηθούν ως απόθεμα φυσικού κεφαλαίου. Το απόθεμα αυτό μπορεί να χρησιμοποιηθεί και να αποσπασθεί.

Σύμφωνα με μία ερμηνεία της έννοιας της βιώσιμης ανάπτυξης, το απόθεμα του φυσικού κεφαλαίου δεν πρέπει να φθίνει με την πάροδο του χρόνου. Η υπόθεση όμως πως το απόθεμα του φυσικού κεφαλαίου πρέπει οπωσδήποτε να διατηρείται σταθερό είναι 'άκαμπτη' και σε πολλές περιπτώσεις μη ρεαλιστική. Η υπόθεση αυτή ισχύει περισσότερο στην περίπτωση των ανανεώσιμων φυσικών πόρων και λιγότερο ή καθόλου στην περίπτωση των μη ανανεώσιμων φυσικών πόρων.

Οι έννοιες της ισχυρούς βιωσιμότητας (strong sustainability) και της ασθενούς βιωσιμότητας (weak sustainability) χρησιμοποιούνται για την διαφοροποίηση μεταξύ των δύο αυτών περιπτώσεων (European Commission Secretariat General, 2004).

Σύμφωνα με την ισχυρή βιωσιμότητα η τέλεια υποκατάσταση ανάμεσα σε διαφορετικούς τύπους κεφαλαίου δεν είναι μία βάσιμη υπόθεση. Κάποια στοιχεία του αποθέματος σε φυσικό κεφάλαιο δεν μπορούν να υποκατασταθούν από ανθρωπογενές κεφάλαιο (παρά μόνο σε πολύ περιορισμένη βάση). Κάποιες από τις λειτουργίες και τις υπηρεσίες των οικοσυστημάτων είναι ζωτικές για την ανθρώπινη επιβίωση, είναι υπηρεσίες υποστήριξης της ζωής (life support systems) και δεν μπορούν να υποκατασταθούν.

Σύμφωνα με την ασθενή βιωσιμότητα δεν είναι απαραίτητο να ξεχωρίζεται το περιβάλλον για μία ειδικότερη μεταχείριση. Είναι απλά ένα άλλο είδος κεφαλαίου. Περαιτέρω, αυτό που είναι αναγκαίο για τη βιώσιμη ανάπτυξη είναι η μεταβίβαση ενός συνολικού αποθέματος κεφαλαίου, όχι λιγότερο από αυτό που υπάρχει τώρα. Η ασθενής βιωσιμότητα υπονοεί πως ένα συγκεκριμένο στοιχείο του φυσικού κεφαλαίου μπορεί να υποκατασταθεί από άλλα είδη κεφαλαίου, είτε φυσικού είτε ανθρωπογενούς.

Σύμφωνα με την ασθενή βιωσιμότητα η ανάπτυξη μπορεί να θεωρηθεί βιώσιμη αν και εφόσον το συνολικό κεφάλαιο παραμένει σταθερό. Αυτός συνεπώς είναι ο σταθερός κεφαλαιακός κανόνας της ασθενούς βιωσιμότητας. Η ασθενής βιωσιμότητα λοιπόν βασίζεται στην τέλεια υποκαταστασιμότητα ανάμεσα στις διαφορετικές μορφές του κεφαλαίου.

Βάσει των ανωτέρω προέκυψαν 4 προσεγγίσεις της βιώσιμης ανάπτυξης (Turner et al, 1994): · Η πολύ ισχυρή βιωσιμότητα σύμφωνα με την οποία δεν επιτρέπεται η υποκαταστασιμότητα μεταξύ των διαφορετικών μορφών κεφαλαίου· Η ισχυρή βιωσιμότητα σύμφωνα με την οποία επιτρέπεται η εν μέρει υποκαταστασιμότητα μεταξύ των κεφαλαίων. Η ασθενής βιωσιμότητα σύμφωνα με την οποία επιτρέπεται η υποκαταστασιμότητα των κεφαλαίων μέχρι ορισμένων -μη εύκολα προσδιορίσιμων- ορίων. Η πολύ ασθενής βιωσιμότητα σύμφωνα με την οποία επιτρέπεται η πλήρης υποκαταστασιμότητα των κεφαλαίων (GHK, 2002).

Η προσέγγιση της ΕΕ για τη βιώσιμη ανάπτυξη είναι η λεγόμενη προσέγγιση των τριών πυλώνων (οικονομική αποτελεσματικότητα, περιβαλλοντική προστασία, κοινωνική δικαιοσύνη), η οποία προϋποθέτει την ενσωμάτωση των οικονομικών,

κοινωνικών και περιβαλλοντικών πολιτικών. Η βιώσιμη ανάπτυξη λαμβάνεται υπόψη ως υπερισχύουσα αρχή (over-arching principle) και αναγνωρίζεται πως η ανάπτυξη μπορεί να θεωρηθεί βιώσιμη εάν και μόνο το παραγόμενο αποτέλεσμα (output) από τη χρήση του αποθέματος του κεφαλαίου, δηλαδή η ευημερία, παραμένει σταθερό ή αυξάνεται με την πάροδο του χρόνου (GHK, 2002).

Στην πορεία αυτή για την επίτευξη βιώσιμης ανάπτυξης η ΕΕ αναγνωρίζει 6 κύριες πηγές απειλής, οι οποίες είναι:

1. Οι κλιματικές αλλαγές οι οποίες επιδρούν στην άνοδο της θερμοκρασίας του πλανήτη και στην παρουσία ακραίων καιρικών φαινομένων
2. Οι κίνδυνοι για την δημόσια υγεία από ασθένειες ανθεκτικές στα αντιβιοτικά αλλά και από τη χρήση χημικών ουσιών στην καθημερινή ζωή
3. Η φτώχεια και ο κοινωνικός αποκλεισμός
4. Η γήρανση του πληθυσμού
5. Η αυξανόμενη πίεση στους ζωτικούς φυσικούς πόρους και η μείωση της βιοποικιλότητας
6. Το πρόβλημα των μεταφορών (κυκλοφοριακά προβλήματα στις αστικές περιοχές) και η ρύπανση που προκαλούν τα μέσα μεταφοράς (Commission of the European Communities, 2001; European Commission, 2002).[4].

Συνοψίζοντας μπορούμε να πούμε ότι : βιωσιμότητα ή αειφορία είναι η φροντίδα και το καθήκον μας για το ασφαλές μέλλον των απογόνων μας, των μελλοντικών γενεών και της ίδιας της γης, δεδομένου ότι «Δεν έχουμε κληρονομήσει τη γη των προγόνων μας, έχουμε δανειστεί τη γη των παιδιών μας».

Το 1987, η Επιτροπή για το Περιβάλλον και την Ανάπτυξη, Οργανισμού Ηνωμένων Εθνών (Επιτροπή Brundtland), προσδιόρισε την Βιώσιμη Ανάπτυξη (Sustainable Development) ως το μοναδικό τρόπο ανάπτυξης και εξέλιξης κοινωνίας για τα επόμενα χρόνια.

Ως Βιώσιμη Ανάπτυξη ορίζεται η ικανοποίηση των σημερινών ανθρώπινων αναγκών, με τέτοιο τρόπο που να μη διακυβεύεται το δικαίωμα των επερχόμενων γενεών να ικανοποιηθούν και αυτές τις δικές τους ανάγκες. Εμπεριέχει δύο έννοιες κλειδιά:

α) Η έννοια των αναγκών και συγκεκριμένα ουσιαστικές ανάγκες των φτωχών του κόσμου στις οποίες πρέπει να μπει προτεραιότητα,

α Η ιδέα των περιορισμών που θέτει η τεχνολογία και η κοινωνική οργάνωση στις δυνατότητες του περιβάλλοντος να καλύψει της σημερινές και μελλοντικές ανάγκες [1.2.3.4.5].

1.1.2 Πράσινη Χημεία

Η Πράσινη Χημεία αποτελεί τη συντεταγμένη ανταπόκριση της χημείας, στο κάλεσμα της παγκόσμιας κοινότητας για Βιώσιμη Ανάπτυξη. Ο όρος καθιερώθηκε στις αρχές της δεκαετίας του 1990 από την Αμερικάνικη Υπηρεσία για την Προστασία του Περιβάλλοντος (Environmental Protection Agency-EPA). Πράσινη χημεία είναι ο σχεδιασμός χημικών προϊόντων και η παρασκευή τους με διεργασίες που ελαττώνουν ή εξαλείφουν τη χρήση και την παραγωγή επικίνδυνων ουσιών.

Η Πράσινη Χημεία δεν είναι ένας νέος κλάδος της χημείας, αλλά μια φιλοσοφία και ένας νέος τρόπος σκέψης και προσέγγισης του χημικού γίνεσθαι. Συνδυάζει εργαλεία, τεχνικές και τεχνολογίες που μπορούν να βοηθήσουν τους χημικούς και τους χημικούς μηχανικούς στην έρευνα και παραγωγή προϊόντων και στην επιλογή διεργασιών φιλικών προς τον άνθρωπο και το περιβάλλον. Δεν έχει αν κάνει απλά και μόνο με τη βιομηχανική παραγωγή αλλά επίσης με την έρευνα και την εκπαίδευση.

Σύμφωνα με τον ορισμό του Paul Anastas «Πράσινη Χημεία είναι η χρησιμοποίηση ενός συνόλου αρχών με την εφαρμογή των οποίων μειώνεται ή εξαλείφεται η χρήση ή η δημιουργία επικίνδυνων ουσιών στις διεργασίες σχεδιασμού, παραγωγής και εφαρμογής των χημικών προϊόντων». [6,7,11,12]

1.1.3. Στόχοι της Πράσινης Χημείας

Στόχοι της Πράσινης Χημείας είναι η μείωση επικίνδυνων ουσιών που σχετίζονται με προϊόντα και διεργασίες που είναι απαραίτητα όχι μόνο για την διατήρηση της ποιότητας ζωής που έχει πετύχει η κοινωνία μέσω της χημείας αλλά να προωθήσει περαιτέρω τα τεχνολογικά επιτεύγματα της χημείας κατά τρόπο βιώσιμο.

Η Πράσινη Χημεία χρησιμοποιεί τα εργαλεία της Χημείας, περιλαμβάνει όλους τους τομείς της Χημείας και μπορεί να χαρακτηριστεί ως Χημεία που προλαμβάνει τη ρύπανση, Χημεία για την υγεία του ανθρώπου και υγιές περιβάλλον είναι με λιγα λόγια «η χημεία της μείωσης» διότι προσπαθεί να μειώσει τους ρυπούς πριν αυτοί σχηματισθούν .

1.1.4. Αρχές της Πράσινης Χημείας

Η επίτευξη των στόχων της Πράσινης Χημείας βασίζεται σε 12 αρχές που αναφέρονται παρακάτω:

ΟΙ ΔΩΔΕΚΑ ΑΡΧΕΣ ΤΗΣ ΠΡΑΣΙΝΗΣ ΧΗΜΕΙΑΣ

- 1) Πρόληψη: Είναι προτιμότερο να προλαμβάνουμε τα απόβλητα από το να κατεργαζόμαστε ή να καθαρίζουμε τα απόβλητα αφού σχηματιστούν.
- 2) Οικονομία Ατόμων: Οι μέθοδοι σύνθεσης πρέπει να σχεδιάζονται έτσι ώστε όλα τα άτομα των αντιδρώντων ή όσον το δυνατόν περισσότερα να συμμετέχουν στο τελικό προϊόν.
- 3) Λιγότερο επικίνδυνες χημικές συνθέσεις: Σχεδιασμός συνθετικών μεθόδων ώστε να χρησιμοποιούν και να δημιουργούν ουσίες που έχουν ελάχιστη ή καθόλου τοξικότητα στον άνθρωπο και το περιβάλλον.
- 4) Σχεδιασμός ασφαλέστερων χημικών προϊόντων: Τα χημικά προϊόντα πρέπει να σχεδιάζονται έτσι ώστε να είναι αποτελεσματικά για τον σκοπό που σχεδιάστηκαν με ελαχιστοποίηση της τοξικότητας των.
- 5) Ασφαλέστεροι διαλύτες και βοηθητικά μέσα: Η χρήση διαλυτών να αποφεύγεται ή όπου χρησιμοποιούνται να είναι αβλαβείς.
- 6) Σχεδιασμός για ενεργειακή αποτελεσματικότητα: Μείωση της απαιτούμενης ενέργειας στις διάφορες χημικές διεργασίες και όπου είναι δυνατόν συνθέσεις να γίνονται σε θερμοκρασία περιβάλλοντος και ατμοσφαιρική πίεση.
- 7) Χρήση ανανεώσιμων πρώτων υλών: Οι πρώτες ύλες πρέπει να είναι ανανεώσιμες.
- 8) Μείωση ενδιάμεσων παραγώγων: Μη απαραίτητα παράγωγα όπως

προστατευτικές ομάδες, προστασία αποπροστασία. προσωρινές τροποποιήσεις φυσικών και/ή χημικών διεργασιών πρέπει να ελαχιστοποιηθούν ή να αποφεύγονται διότι τα στάδια αυτά απαιτούν επιπλέον αντιδραστήρια και δημιουργούν απόβλητα.

- 9) Κατάλυση: Καταλυτικά αντιδραστήρια, κατά το δυνατόν εκλεκτικά, υπερέχουν των αντιδραστηρίων που επιβάλλει η στοιχειομετρία της αντίδρασης.
- 10) Σχεδιασμός αποικοδομήσεων προϊόντων: Προϊόντα που αποικοδομούνται στο περιβάλλον προς μη τοξικά προϊόντα και δεν διατηρούνται ανέπαφα για μεγάλο χρονικό διάστημα.
- 11) Ανάλυση πραγματικού χρόνου για πρόληψη της ρύπανσης: Ανάπτυξη μεθόδων ανάλυσης πραγματικού χρόνου που θα επιτρέπουν τον έλεγχο των διεργασιών όσον αφορά το σχηματισμό επικίνδυνων ουσιών
- 12) Ασφαλέστερη χημεία για την πρόληψη ατυχημάτων: Οι χρησιμοποιούμενες και παραγόμενες ουσίες σε μία χημική διεργασία πρέπει να επιλέγονται έτσι ώστε να υπάρχει ελάχιστη πιθανότητα χημικών ατυχημάτων συμπεριλαμβανομένων των εκπομπών, των εκρήξεων και της ανάφλεξης. [6,7,12,13,17]

1.1.5. Προώθηση της Πράσινης Χημείας από επιστημονικές οργανώσεις μη κυβερνητικούς οργανισμούς και Πανεπιστήμια

Η Πράσινη Χημεία εργάζεται προς τη βιώσιμη ανάπτυξη α) Δημιουργώντας χημικά προϊόντα που δεν βλάπτουν είτε την υγεία του ανθρώπου είτε το περιβάλλον β) Χρησιμοποιώντας βιομηχανικές διεργασίες που μειώνουν ή εξαλείφουν επικίνδυνα χημικά και γ) Σχεδιάζοντας διεργασίες που ελαχιστοποιούν την παραγωγή αποβλήτων και την χρήση ενέργειας. Όλα αυτά σημαίνουν ότι η Πράσινη Χημεία προλαμβάνει τη ρύπανση πριν να συμβεί, εξοικονομεί χρήματα στην βιομηχανία διότι χρησιμοποιεί λιγότερη ενέργεια,, λιγότερα και ασφαλέστερα χημικά με αποτέλεσμα τη μείωση του κόστους για τον έλεγχο της ρύπανσης και διάθεσης των αποβλήτων.

Η Πράσινη Χημεία είναι ελκυστική για την Χημική Βιομηχανία διότι οι αρχές της μείωσης αποβλήτων και της εξάλειψης τοξικών παραπροϊόντων σημαίνουν οικονομικό όφελος. Η Χημική Βιομηχανία στην Ευρωπαϊκή Ένωση και τις Η.Π.Α. έχει υιοθετήσει την μεθοδολογία της Πράσινης Χημείας, την έχει εντάξει στην Έρευνα και Ανάπτυξη και σήμερα παράγονται «πράσινα» προϊόντα με μεγάλη ετήσια παραγωγή όπως το αναλγητικό Ibuprofen, το αδιπικό οξύ, η υδροκινόνη κ.ά. Επίσης χρησιμοποιούνται «πράσινοι» διαλύτες, όπως το υπερκρίσιμο CO₂, που αντικαθιστά τους πτητικούς οργανικούς διαλύτες (VOC) σε χημικές συνθέσεις, στην εκχύλιση φυσικών προϊόντων, το "perc" στο στεγνό καθάρισμα, χλωριωμένους υδρογονάνθρακες που χρησιμοποιούνται ως διαλυτικά για τον καθαρισμό μεταλλικών επιφανειών κ.ά.

Η σημαντική ανάπτυξη της Πράσινης Χημείας από το 1991 μέχρι σήμερα είχε σαν οδηγό την νέα γνώση για το τι είναι επικίνδυνο και τι ακίνδυνο, την συνεχώς αυξανόμενη ικανότητα των χημικών να διαχειρίζονται εκλεκτικά και επιτυχώς τις χημικές ενώσεις σε μοριακό επίπεδο ώστε να δημιουργούν τις κατάλληλες μη-τοξικές ενώσεις που χρειαζόμαστε και το συνεχώς αυξανόμενο υψηλό κόστος της χρήσης και διάθεσης επικίνδυνων ουσιών.

Η παγκόσμια αποδοχή των στόχων και των αρχών της Πράσινης Χημείας σαν βασικοί παράγοντες για την Βιώσιμη Ανάπτυξη είναι η αναγνώριση ότι οι χημικοί σαν αρχιτέκτονες της ύλης έχουν την δύναμη και την ικανότητα να σχεδιάσουν μη τοξικά προϊόντα και διεργασίες που δεν δημιουργούν απόβλητα.

Όλα όμως αυτά δεν πραγματοποιούνται μόνο από τους Χημικούς. Η Πράσινη Χημεία είναι μεν Κεντρική Επιστήμη η πραγματοποίησή όμως του επιθυμητού αποτελέσματος απαιτεί πρωτίστως την συνεργασία μιας πολυεπιστημονικής ομάδας (Χημικοί, Χημικοί-Μηχανικοί, Περιβαντολόγοι, Μηχανικοί, Οικονομολόγοι κ.ά.) η οποία θα στηριχθεί από την Πολιτεία, την Βιομηχανία και την Κοινωνία γενικότερα.

Στον Ελληνικό χώρο η Πράσινη Χημεία έχει υιοθετηθεί, με αποφάσεις Γενικών Συνελεύσεων, από τα Τμήματα Χημείας του Πανεπιστημίου Πατρών, του Αριστοτέλειου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης, του Πανεπιστημίου Ιωαννίνων και από την Ένωση Ελλήνων Χημικών και έχουν δημιουργηθεί αντίστοιχες Ομάδες Πράσινης Χημείας για την προώθηση της στην Εκπαίδευση, την Έρευνα και την Βιομηχανία. Οι παραπάνω φορείς είναι τα πρώτα μέλη του Ελληνικού Δικτύου Πράσινης Χημείας του οποίου ένας από βασικούς στόχους είναι η προσέλκυση νέων μελών από τον

Ακαδημαϊκό χώρο, την Βιομηχανία καθώς και κυβερνητικούς και μη κυβερνητικούς οργανισμούς.

Οι επιστήμονες σε ολόκληρο τον κόσμο έχουν αναγνωρίσει το ζωτικό ρόλο της εκπαίδευσης στη Πράσινη Χημεία, όχι μόνο σε όλες τις βαθμίδες της εκπαίδευσης αλλά και στο ευρύτερο κοινό. Η υλοποίηση της παραπάνω διαπίστωσης είναι ένα τεράστιο εγχείρημα και παρουσιάζει ποικίλα προβλήματα που οφείλονται κυρίως στην διαφοροποίηση μεταξύ των διαφόρων κρατών στα εκπαιδευτικά συστήματα, στα προγράμματα σπουδών, στην επιμόρφωση των καθηγητών κ.ά.

Σήμερα η προώθηση της Πράσινης Χημείας στην εκπαίδευση γίνεται από επιστημονικές οργανώσεις, μη-κυβερνητικούς οργανισμούς και τα πανεπιστήμια.

Επιστημονικές οργανώσεις για την προώθηση της Πράσινης Χημείας στην Ευρώπη είναι:

- International Union of Pure and Applied Chemistry (IUPAC)
- Organization for the Economic Cooperation and Development (OECD)

Μη κυβερνητικοί οργανισμοί (NGO) για την προώθηση της Πράσινης Χημείας είναι:

- Green Chemistry Institute (GCI) στις Η Π Α και το οποίο υποστηρίζεται και συνεργάζεται από την American Chemical Society.
- Green Chemistry Network (GCN) στην Αγγλία το οποίο δημιουργήθηκε από τη Royal Society of Chemistry (RSC) και εδρεύει στο Πανεπιστήμιο του York.
- Interuniversity Consortium "Chemistry for the Environment" (INCA) στο οποίο συμμετέχουν 30 Ιταλικά Πανεπιστήμια.

Υπάρχουν και πολλοί άλλοι οργανισμοί εθνικής και διεθνούς εμβέλειας όπως Center for Green Chemistry (Αυστραλία), German Chemical Society (Γερμανία), Green and Sustainable Chemistry Network (Ιαπωνία), Alliance for Chemical Sciences and Technologies in Europe (AllChemE) που εδρεύει στις Βρυξέλλες, European Chemical Industry Council (CEFIC), European Chemistry Thematic Network (ECTN) καθώς και πολλοί άλλοι στην Ευρώπη, τη Ασία και Νότιο και Βόρειο Αμερική.

Η εκπαίδευση σε θέματα Πράσινης Χημείας έχει ήδη εισαχθεί στα προγράμματα σπουδών διαφόρων πανεπιστημίων και με διάφορους τρόπους. Ενδεικτικά αναφέρονται στον πίνακα 1 μερικά πανεπιστήμια στις ΗΠΑ, στο Ηνωμένο Βασίλειο και την Αυστραλία

Πίνακας 1: Πανεπιστήμια που έχουν εισάγει την Πράσινη Χημεία στο Πρόγραμμα Σπουδών

Πανεπιστήμια ΗΠΑ	Πανεπιστήμια Ηνωμένου Βασιλείου
Cornegie Mellon University (CMU)	University of York/ Department of Chemistry
Μάθημα: Εισαγωγή στην Πράσινη Χημεία προπτυχιακοί φοιτητές τελευταίου έτους και	Εισαγωγή στα διάφορα μαθήματα. Master of Research in Clean Chemical Technology.
University of Scranton	University of Leeds/ School of Chemistry
Εισαγωγή της Πράσινης Χημείας στο ήδη υπάρχον	Στο προπτυχιακό πρόγραμμα σπουδών από το 1999.
University of Oregon	University of Nottingham
Εργαστήρια Οργανικής Χημείας.	Εισαγωγή στα μαθήματα. Σεμινάρια
University of Delaware	University of Glasgow
Μάθημα για τελειόφοιτους, πτυχιούχους και	Εισαγωγή στα μαθήματα. Σεμινάρια
Hendrix College	University of Liverpool
Πράσινη Οργανική Χημεία. Ξεκίνησε με εργαστήρια σε μικροκλίματα και στη συνέχεια εισήγαγε Πράσινα	Εισαγωγή στα μαθήματα. Σεμινάρια
Massachusetts Institute of Technology (MIT)	University of Lancaster
Εργαστήρια με στόχο τη μείωση των αποβλήτων και των επικίνδυνων ουσιών.	Εισαγωγή στα μαθήματα. Σεμινάρια
University of Illinois Urbana-Champaign	University of Edinburgh
Ειδικά θέματα πράσινης χημείας on line. Διεπιστημονικό Πρόγραμμα Επιστήμης και Τεχνολογίας προχωρημένου επιπέδου στην Πράσινη	Εισαγωγή στα μαθήματα.
University of Massachusetts-Boston/ Department of Chemistry	
Ph.D. πρόγραμμα στην Πράσινη Χημεία.	
Πανεπιστήμια Αυστραλίας	
University of Monash/ School of Chemistry	
Μάθημα στο 3 ^ο έτος	

Στα πανεπιστήμια όλου του κόσμου, ακόμα και στην Ελλάδα, υπάρχουν μεμονωμένα άτομα, που με την έρευνα και τη διδασκαλία τους έχουν σημαντική συμμετοχή στη διάδοση της πράσινης Χημείας και της Βιωσιμότητας.

Ο προβληματισμός που αναπτύχθηκε ήταν για το ποιος είναι ο καλύτερος τρόπος για να εισαχθεί η πράσινη χημεία στο προπτυχιακό πρόγραμμα σπουδών, π.χ. εισαγωγή μαθήματος, διαλέξεων, σεμιναρίων ή ολόκληρο το πρόγραμμα να γίνει «πράσινο»;

Το γεγονός είναι ότι ένας μικρός σχετικά αριθμός πανεπιστημίων έχει προχωρήσει στην εισαγωγή της πράσινης χημείας στο προπτυχιακό πρόγραμμα σπουδών. Ένας από τους βασικούς λόγους είναι ότι η πράσινη χημεία όπως έχει προαναφερθεί είναι πολυεπιστημονική δηλαδή για ένα ολοκληρωμένο πρόγραμμα απαιτείται και η συμμετοχή άλλων επιστημονικών κλάδων όπως Χημική Μηχανική, Φυσική, Βιολογία, Οικονομικά, Περιβατολογικές Επιστήμες κ.ά.

Έτσι παρατηρούμε ότι εισάγεται σε μαθήματα και εργαστήρια με ευθύνη των αντιστοίχων διδασκόντων ενώ τα άλλα αντικείμενα καλύπτονται με διαλέξεις και σεμινάρια. Τα διάφορα πανεπιστήμια, ερευνητικά κέντρα σε συνεργασία με τις επιστημονικές οργανώσεις, τις βιομηχανίες και τους κρατικούς φορείς οργανώνουν σεμινάρια, εντατικά μαθήματα, δραστηριότητες κ.ά. για κάθε ηλικία και ιδιότητα ώστε οι εκπαιδευόμενοι να έχουν μία πλήρη εικόνα της Πράσινης Χημείας.

Η στρατηγική αυτή είναι μία αναγκαιότητα διότι η εκπαίδευση δεν είναι μόνο διδασκαλία εναλλακτικών συνθετικών μεθόδων, εναλλακτικών μορφών ενέργειας, εναλλακτικών πρώτων υλών κ.ά., η εκπαίδευση πρέπει να έχει το στοιχείο της αλληλεπίδρασης με τη κοινωνία.

Στην Αμερική το 1995, η Environmental Protection Agency (EPA) και η American Chemical Society (ACS), υπέγραψαν συμβόλαιο συνεργασίας για να αναπτύξουν εκπαιδευτικό υλικό, σχετιζόμενο με την Πράσινη Χημεία, που θα περιλαμβάνει:

- σχολιασμένη βιβλιογραφία
- ιστοσελίδες Πράσινης Χημείας
- οδηγούς ανεύρεσης πληροφοριακού υλικού

Αποφάσισαν ακόμη τη διεξαγωγή εργαστηριακών σεμιναρίων, συνεδριάσεων και δημοσιοποίηση της δουλειάς (έρευνα και άλλες δραστηριότητες) με τη δημιουργία περιοδικών. Το πρώτο περιοδικό Πράσινης Χημείας, το Green Chemistry Journal από

την Royal Society of Chemistry κυκλοφόρησε για πρώτη φορά τον Φεβρουάριο του 1999. Στη Μελβούρνη της Αυστραλίας, τον Ιούλιο του 2001, διοργανώθηκε από την IUPAC ένα σημαντικό συνέδριο Πράσινης Χημείας, ενώ στη Βενετία, πάλι από την IUPAC το 2001, δόθηκε σειρά σεμιναρίων, αφιερωμένων στις «εκπαιδευτικές προοπτικές της Πράσινη Χημείας», που αναπτύχθηκαν σε πέντε κύρια θέματα:

- Ήδη υπάρχοντα κυβερνητικό προγράμματα και προγράμματα βιομηχανίας
- Υπάρχον εκπαιδευτικό υλικό
- Εργαλεία, πρωτοβουλίες και πηγές
- Δεσμεύσεις και συστάσεις απαραίτητες για την εκτέλεση εκπαιδευτικών προγραμμάτων της πράσινης χημείας
- Περιοχές εκπαίδευσης κατάλληλες για εκπαίδευση στην Πράσινη Χημεία
- Επεξεργασία και εκτέλεση εκπαιδευτικών προγραμμάτων Πράσινης Χημείας καθώς και χρήση νέων εκπαιδευτικών εργαλείων και υλικών.

Από τις ευρωπαϊκές χώρες η Σουηδία, η Ουγγαρία η Τσεχία η Αγγλία και η Γερμανία δραστηριοποιούνται έντονα στην Πράσινη Χημεία. Η Ιταλία έχει επίσης ισχυρή παρουσία στο χώρο. δημιούργησε δε διαπανεπιστημιακό δίκτυο με συμμετοχή 30 ιταλικών πανεπιστημίων με εμπνευστή τον καθηγητή Tundo υπό το πανεπιστήμιο Ca' Foscari di Venezia.

Στην Αυστρία, το 13% των πανεπιστημίων της συμμετέχουν ενεργά σε διεθνείς οργανώσεις, διδάσκουν και προωθούν την Πράσινη Χημεία και την Βιωσιμότητα. Στην Αυστραλία έχει ιδρυθεί κέντρο Πράσινης Χημείας, που έχει ως στόχο την παροχή βασικής επιστημονικής γνώσης, για μελλοντική Πράσινη Χημική Τεχνολογία και εστιάζεται σε:

- Τεχνολογία πιο καθαρών συνθέσεων
- Διδασκαλία
- Ενημέρωση της κοινότητας

Στην Ελλάδα το Σεπτέμβριο του 2002 η Γενική Συνέλευση του Τμήματος Χημείας του Παν/μίου Πατρών, αποφάσισε ομόφωνα την υιοθέτηση και προώθηση της Πράσινης Χημείας στα πλαίσια της Βιώσιμης Ανάπτυξης και δημιουργήθηκε η Ομάδα Πράσινης Χημείας με συντονιστή τον καθηγητή Κ. Πούλο.

Η παραπάνω απόφαση εστάλη στα Τμήματα Χημείας των Ελληνικών ΑΕΙ εκ των οποίων τα Τμήματα Χημείας του Αριστοτέλειου Παν/μίου Θεσσαλονίκης και του

Παν/μίου Ιωαννίνων υιοθέτησαν την Πράσινη Χημεία και δημιούργησαν αντίστοιχες Ομάδες Πράσινης Χημείας.

Επίσης την παραπάνω απόφαση υιοθέτησε η Συνέλευση των Αντιπροσώπων της Ένωσης Ελλήνων Χημικών. Όλες οι παραπάνω ομάδες βρίσκονται σε στενή συνεργασία και έχουν συστήσει το **Ελληνικό Δίκτυο Πράσινης Χημείας**.

Στόχοι των Ομάδων της Πράσινης Χημείας είναι η προώθηση και η εφαρμογή της Πράσινης Χημείας στην:

- Εκπαίδευση
- Έρευνα
- Βιομηχανία
- Κοινωνία

Η υλοποίηση των στόχων των Ομάδων Πράσινης Χημείας περιλαμβάνει:

- Δημιουργία εκπαιδευτικού υλικού για πανεπιστήμια και σχολεία
- Οργάνωση συμποσίων, σεμιναρίων και εντατικών μαθημάτων
- Έκδοση ενημερωτικού δελτίου
- Σύνδεση με άλλα Τμήματα Ελληνικών και ξένων Πανεπιστημίων ερευνητικά ινστιτούτα, κυβερνητικούς και μη-κυβερνητικούς οργανισμούς, την βιομηχανία και Δίκτυα Πράσινης Χημείας.

ΣΤΟ Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, από επταετίας, ο κ. Απόστολος Μαρούλης και η κ. Κωνσταντίνα Χατζηαντωνίου Μαρούλη, έχουν δοκιμάσει την πειραματική διδασκαλία της Πράσινης Χημείας σε προπτυχιακό επίπεδο με πολύ καλά αποτελέσματα. Τέσσερις από τις δέκα ασκήσεις του τρίτου εξαμήνου των προπτυχιακών φοιτητών του τμήματος χημείας που αφορούν σε βασικές αντιδράσεις (οξειδωση, συμπύκνωση, κατάλυση με υποστηριζόμενα αντιδραστήρια) έχουν «πρασινίσει». Συγκεκριμένα μιλάμε για:

- Αντίδραση Diels Alder υποβοηθούμενη από μικροκύματα όπου αντικαταστάθηκε το τρίωρο βράσιμο σε ξυλόλιο με δίλεπτη μικροκυματική θέρμανση. Το λαμβανόμενο προϊόν είναι υψηλής καθαρότητας και έχει απόδοση >80%.
- Αλδολική συμπύκνωση βενζαλδεϋδης-κυκλοεξανόνης με υποστηριζόμενα αντιδραστήρια (Καυστικό Κάλιο υποστηριγμένο σε Alumina).
- Οξειδωση κυκλοεξανόλης προς κυκλοεξανόνη με χλωρίνη αντί με

διχρωμικό κάλιο (γνωστό καρκινογόνο).

- Οξείδωση Φλουορενίου προς Φλουορενόνη με υπερμαγγανικό Κάλιο σε σαπωνοδιάλυμα σεβακικού νατρίου (αντίδρασης μεταφοράς φάσης, phase transfer αντί της οξείδωσης με διχρωμικό κάλιο.

Επίσης, στο Α.Π.Θ, η φιλοσοφία της Πράσινης Χημείας και οι αρχές της διδάσκονται, από τους παραπάνω καθηγητές, στα πλαίσια διαφόρων μεταπτυχιακών προγραμμάτων σπουδών με ανάλυση και επικέντρωση των παρακάτω θεμάτων:

- Εισαγωγή. Ιστορικά στοιχεία, Ηθική Περιβάλλοντος
- Στοιχεία εφαρμοσμένης τοξικολογίας. Ορισμοί, Φυσική Κατάσταση των Χημικών Ενώσεων, Οδοί Έκθεσης, LD50, TLV, Περιβαλλοντική Τοξικολογία, Οικοτοξικολογία
- Ασφαλής Χειρισμός των Χημικών. Μέσα ατομικής Προστασίας, Μεταφορά, Αποθήκευση, Ασυμβατότητα.
- Διάθεση των Χημικών Αποβλήτων. Χαρακτηριστικά των Επικινδύνων Αποβλήτων, Προβλήματα Προκαλούμενα από τη Διάθεση των Αποβλήτων στην Αποχέτευση, Διαδικασίες Διάθεσης.
- Στοιχεία Πράσινης Χημείας. Ορισμός, Αειφόρος Χημεία, Κατάλυση, Υποστηριζόμενα Αντιδραστήρια, Μικροκύματα, Υπερκρίσιμη Εκχύλιση, Ιονικά Υγρά.
- Ανάλυση Επικινδυνότητας. Φύλλα Πληροφοριών Ασφαλείας Υλικών (Material Safety Data Sheets, MSDS).

Επίσης, στο μεταπτυχιακό της Διδακτικής της Χημείας και των Νέων Τεχνολογιών του τμήματος Χημείας του Α.Π.Θ, υπό την επίβλεψη των παραπάνω καθηγητών, εκπονούνται πολλές εργασίες που διαπραγματεύονται θέματα Πράσινης Χημείας.

Η Πράσινη Χημεία ενσωματώθηκε στην πρόταση που υποβλήθηκε στα πλαίσια του προγράμματος ΕΠΕΑΕΚ «Αναμόρφωση Προπτυχιακού Προγράμματος Σπουδών» του Τμήματος Χημείας του Πανεπιστημίου Πατρών, το πρόγραμμα εγκρίθηκε και υλοποιείται από τον Απρίλιο του 2003.

Σύμφωνα με αυτό, η Πράσινη Χημεία ενσωματώθηκε σε πολλά μαθήματα του προπτυχιακού προγράμματος με τις εξής μορφές:

- Εισαγωγή «πράσινων» παραδειγμάτων και σύγκριση με αντίστοιχα κλασσικά

παραδείγματα.

- Εισαγωγή πειραμάτων σε μικροκλίμακα.
- Εισαγωγή, στην ύλη διαφόρων μαθημάτων, των 12 αρχών της. Αντικατάσταση κλασικών πειραμάτων με πειράματα Πράσινης Χημείας.
- Παρουσίαση σύνθεσης προϊόντων με τις αρχές της Πράσινης Χημείας και σύγκριση τους με τις κλασικές μεθόδους παραγωγής των προϊόντων. Οι φοιτητές χωρίζονται σε τυχαίες ομάδες των τριών ατόμων και γίνεται με τη μέθοδο του Project η οποία ολοκληρώνεται με γραπτή και προφορική παρουσίαση. Αυτοαξιολόγηση.
- Υπάρχει η δυνατότητα εκπόνησης διπλωματικής εργασίας στο μάθημα της Οργανικής Χημείας, όπου οι φοιτητές επεξεργάζονται ένα θέμα το οποίο περιλαμβάνει μία σειρά αντιδράσεων που, αν όχι σε όλες, σε μερικές εφαρμόζονται οι αρχές της Πράσινης Χημείας.

Επίσης δίνονται σεμινάρια, από Έλληνες και ξένους επιστήμονες όλων των κλάδων, πάνω σε θέματα που αφορούν:

- Πράσινη Χημεία
- Διαχείριση του Περιβάλλοντος
- Υγιεινή και Ασφάλεια στο Εργαστήριο και τον Εργασιακό Χώρο.
- Διαχείριση Ποιότητας
- Πράσινη Χημεία και Πράσινη Χημική Τεχνολογία.

Το παραπάνω «μοντέλο» μπορεί να βοηθήσει στο σχεδιασμό ενός αντίστοιχου «μοντέλου» για την εισαγωγή της Πράσινης Χημείας στη Δευτεροβάθμια Εκπαίδευση. Βασική προϋπόθεση είναι η αποδοχή και η συνειδητοποίηση της φιλοσοφίας της Πράσινης Χημείας.

Επίσης απαιτούνται, εκπαίδευση των καθηγητών της Δευτεροβάθμιας εκπαίδευσης σε θέματα Πράσινης Χημείας και Βιωσιμότητας και δημιουργία νέου εκπαιδευτικού υλικού. [8,9,10,11]

Στη Δευτεροβάθμια εκπαίδευση η εισαγωγή της Πράσινης Χημείας σε πρώτη φάση μπορεί να γίνει ως εξής:

- Εισαγωγή θεμάτων πράσινης χημείας στα διάφορα μαθήματα
- Δραστηριότητες που μπορούν να ενταχθούν στα εργαστήρια χημείας, φυσικής και βιολογίας

- Στην περιβαλλοντική εκπαίδευση
- Στην Αγωγή Υγείας
- Εκδηλώσεις

1.2. ΠΡΑΣΙΝΗ ΜΗΧΑΝΙΚΗ (GREEN ENGINEERING)

1.2.1. Τι είναι Πράσινη Μηχανική

Τα τεράστια περιβαλλοντικά προβλήματα που έχουν εμφανιστεί με ιδιαίτερη ένταση ιδιαίτερα κατά τα τελευταία χρόνια, εξαιτίας της πληθυσμιακής έκρηξης, της αλόγιστης χρήσης των πρώτων υλών, του νερού και της καλλιεργήσιμης γης και της συνεχώς αυξανόμενης βιομηχανικής παραγωγής χημικών προϊόντων, θα μπορούσαν να ταξινομηθούν γενικά στα παγκόσμιας εμβέλειας και στα τοπικά. Μεταξύ των πρώτων κατατάσσονται π.χ. τα ενεργειακά προβλήματα, εξαιτίας της εντατικής κατανάλωσης των μη-ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, όπως π.χ. του πετρελαίου, του φυσικού αερίου, του λιγνίτη κλπ. Οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, αν και θεωρητικά ανεξάντλητες, δε θεωρούνται προς το παρόν οικονομικά συμφέρουσες και δε χρησιμοποιούνται σε μεγάλη κλίμακα. Στην ίδια κατηγορία προβλημάτων έχουν θέση επίσης το φαινόμενο του «θερμοκηπίου», που έχει σαν αποτέλεσμα την αύξηση της παγκόσμιας θερμοκρασίας του περιβάλλοντος, καθώς και η καταστροφή του στρώματος του όζοντος. Στη δεύτερη κατηγορία των τοπικών προβλημάτων, ανήκουν κυρίως τα προβλήματα υποβάθμισης της ποιότητας του αέρα εσωτερικών και εξωτερικών χώρων με διάφορους ρύπους, η υποβάθμιση της ποιότητας των νερών και η ελάττωση των φυσικών πόρων (μεταλλεύματα, ξυλεία, στερεά καύσιμα κλπ.).

Τα προηγούμενα σημαντικά περιβαλλοντικά προβλήματα έχουν απασχολήσει συχνά και σε μεγάλο βαθμό ιδιαίτερα κατά τα τελευταία χρόνια τις κυβερνήσεις των κρατών, τους αρμόδιους επιστήμονες, αλλά και την κοινή γνώμη, καθιστώντας απαραίτητη μια αλλαγή στον τρόπο θεώρησης της εφαρμοζόμενης περιβαλλοντικής πολιτικής, καθώς σήμερα καθίσταται επιτακτικότερη από κάθε άλλη φορά, η ανάγκη επίλυσης τους. Για την αντιμετώπιση τους και για την προστασία του περιβάλλοντος και της υγείας του ανθρώπου έχουν παραδοσιακά θεσπιστεί (και θεσπίζονται συνεχώς) ολοένα και αυστηρότεροι νόμοι και κανονισμοί περιβαλλοντικής συμμόρφωσης, που έχουν σαν κύριο σκοπό τη θέσπιση ορίων (μέγιστων επιτρεπτών τιμών) στην ποσότητα των ρύπων, οι οποίοι απελευθερώνονται στο περιβάλλον.

Λαμβάνοντας υπόψη τις βασικές αρχές προστασίας του περιβάλλοντος, όπως εκφράζονται π.χ. από την πρόσφατη οδηγία της Ε. Ε. IPPC (Integrated Pollution

Prevention & Control), η διαχείριση των βιομηχανικών αποβλήτων θα πρέπει να ακολουθεί την παρακάτω ιεραρχική σειρά προτίμησης:

1. Μείωση αποβλήτων στην πηγή της παραγωγής τους.
2. Ανακύκλωση στην ίδια παραγωγική διαδικασία.
3. Ανακύκλωση μέσα στη βιομηχανία.
4. Ανακύκλωση εκτός της βιομηχανίας.
5. Επεξεργασία αποβλήτων.
6. Ασφαλή διάθεση σε κατάλληλους (πλήρους ελεγχόμενους) χώρους (π.χ. χημικής ταφής)
7. Απευθείας απόθεση απελευθέρωση στο περιβάλλον

Ένα σχετικά καινούργιο «εργαλείο» περιβαλλοντικής προστασίας, ονομάζεται «Πράσινη Χημική Τεχνολογία ή Μηχανική» (Green Chemical Technology ή Green Engineering). Σαν Πράσινη Τεχνολογία (ή Μηχανική) μπορεί να οριστεί ο σχεδιασμός και η εμπορευματοποίηση των προϊόντων που προκύπτουν με τη χρήση κατάλληλου συνδυασμού παραγωγικών διαδικασιών, τα οποία θα πρέπει να είναι ποιοτικά και οικονομικά αποδεκτά, ενώ παράλληλα θα ελαχιστοποιούνται: (α) η δημιουργία (ή πρόκληση) ρύπανσης στην πηγή της παραγωγής τους, και (β) η επικινδυνότητα τους για την ανθρώπινη υγεία και το περιβάλλον. Ο σκοπός της θεώρησης αυτής, σε συνδυασμό με άλλες σχετικές πρακτικές, όπως είναι η Πράσινη Χημεία, είναι ο περιορισμός, ή ακόμα και η εξαφάνιση της χρήσης και παραγωγής επικίνδυνων χημικών ουσιών. Τα αποτελέσματα της μεθοδολογίας αυτής θα είναι σημαντικότερα, όσο πιο νωρίς εφαρμόζεται, δηλ. από στην αρχή ακόμη του σχεδιασμού και της ανάπτυξης (design & development) μιας παραγωγικής διαδικασίας ή ενός προϊόντος [14,16,17].

1.2.2.Ο Ρόλος των Τεχνικών Βιομηχανίας (Χημικών/Χημικών

Μηχανικών)

Ένας από τους κύριους ρόλους των τεχνικών βιομηχανίας είναι ο σχεδιασμός και η λειτουργία των χημικών διεργασιών με στόχο την παραγωγή χημικών προϊόντων, που να πληρούν τις απαιτήσεις των καταναλωτών και τα οποία θα είναι οικονομικώς αποδεκτά. Ένας άλλος σημαντικός ρόλος είναι η εξασφάλιση ασφαλών συνθηκών για το εργατικό προσωπικό και τους κατοίκους των γύρω περιοχών της βιομηχανικής εγκατάστασης. Γενικά, οι χημικές διεργασίες δεν θα πρέπει να επιβαρύνουν το περιβάλλον και την ανθρώπινη υγεία. Γι' αυτό το λόγο είναι απαραίτητο να λαμβάνονται υπόψη όλα τα περιβαλλοντικά ζητήματα που έχουν σχέση με τον Κύκλο Ζωής ενός προϊόντος (Life Cycle Assessment), που περιλαμβάνουν τόσο το αρχικό στάδιο της παραγωγής του, όσο και τη μεταφορά του, τη χρήση του από τους καταναλωτές, την ανακύκλωση του και την τελική διάθεση του στο περιβάλλον.

Οι σύγχρονες αντιλήψεις επιβάλλουν στους τεχνικούς της βιομηχανίας να αναθεωρούν και να βελτιώνουν τον σχεδιασμό ακόμη και μιας παραδοσιακής παραγωγικής διαδικασίας, έτσι ώστε να εξαλείφουν ή να μειώνουν σημαντικά τις πηγές της επικινδυνότητας της. Η θεώρηση αυτή έρχεται συχνά σε αντίθεση με παλαιότερες αντιλήψεις, στις οποίες η έμφαση δινόταν στη λήψη μέτρων ασφαλείας στις παραγωγικές διαδικασίες, όπου όμως εξακολουθούσαν να υπάρχουν (εν δυνάμει) κίνδυνοι. Στον επόμενη σελίδα περιέχεται ένας κατάλογος με έναν αριθμό τυπικών θεμάτων με μορφή ερωτήσεων, που θα πρέπει να λαμβάνεται υπόψη [14,16,17].

1.2.3 Κατάλογος ερωτήσεων για τον έλεγχο και την ασφάλεια των χημικο-τεχνολογικών παραγωγικών διαδικασιών

Ελαχιστοποίηση παραγωγής αποβλήτων

Χρήση μικρότερων ποσοτήτων επικίνδυνων ουσιών:

- Ελαχιστοποιήθηκαν όλα τα επικίνδυνα υλικά της διεργασίας στους αποθηκευτικούς χώρους;
- Χρειάζονται πραγματικά όλες οι προτεινόμενες δεξαμενές αποθήκευσης;
- Είναι δυνατόν άλλου είδους εξοπλισμός ή παραγωγική μονάδα να ελαττώσει τους χώρους αποθήκευσης των υλικών;

Αντικατάσταση υλικών

Χρήση λιγότερο επικίνδυνων χημικών ουσιών:

- Είναι δυνατό να εξαλειφθούν εντελώς οι επικίνδυνες πρώτες ύλες, τα ενδιάμεσα προϊόντα παραγωγής και τα παραπροϊόντα, χρησιμοποιώντας μια εναλλακτική χημική ή τεχνολογική παραγωγική διαδικασία;
- Είναι δυνατό να αντικαταστήσουμε εύφλεκτες ή εκρηκτικές πρώτες ύλες (π.χ. διαλύτες) με λιγότερο επικίνδυνες πρώτες ύλες (π.χ. μη-αναφλέξιμες);

Ελαχιστοποίηση περιβαλλοντικών οχλήσεων

Χρήση λιγότερο επικίνδυνων συνθηκών ή εγκαταστάσεων που θα ελαχιστοποιούν τις επιδράσεις ενός ατυχήματος απελευθέρωσης επικίνδυνων υλικών ή ενέργειας: Π.χ.

- Μπορεί η πίεση κατά την τροφοδοσία των πρώτων υλών να είναι όσο το δυνατόν μικρότερη;
- Μπορούν οι συνθήκες μιας αντίδρασης (π.χ. θερμοκρασία, πίεση) να είναι όσο το δυνατόν ηπιότερες, εισάγοντας π.χ. κάποιον καταλύτη ή χρησιμοποιώντας κάποιον άλλο καλύτερο καταλύτη;

Απλούστευση παραγωγικών διαδικασιών

Σχεδιασμός εγκαταστάσεων που θα εξαλείφουν την περιττή πολυπλοκότητα και τα επακόλουθα λειτουργικά προβλήματα και λάθη.

- Μπορεί ο απαραίτητος εξοπλισμός να σχεδιαστεί όσο απλούστερα γίνεται;[14]

1.2.4. Οι δώδεκα Αρχές της Πράσινης Μηχανικής (Paul Anastas 2003)

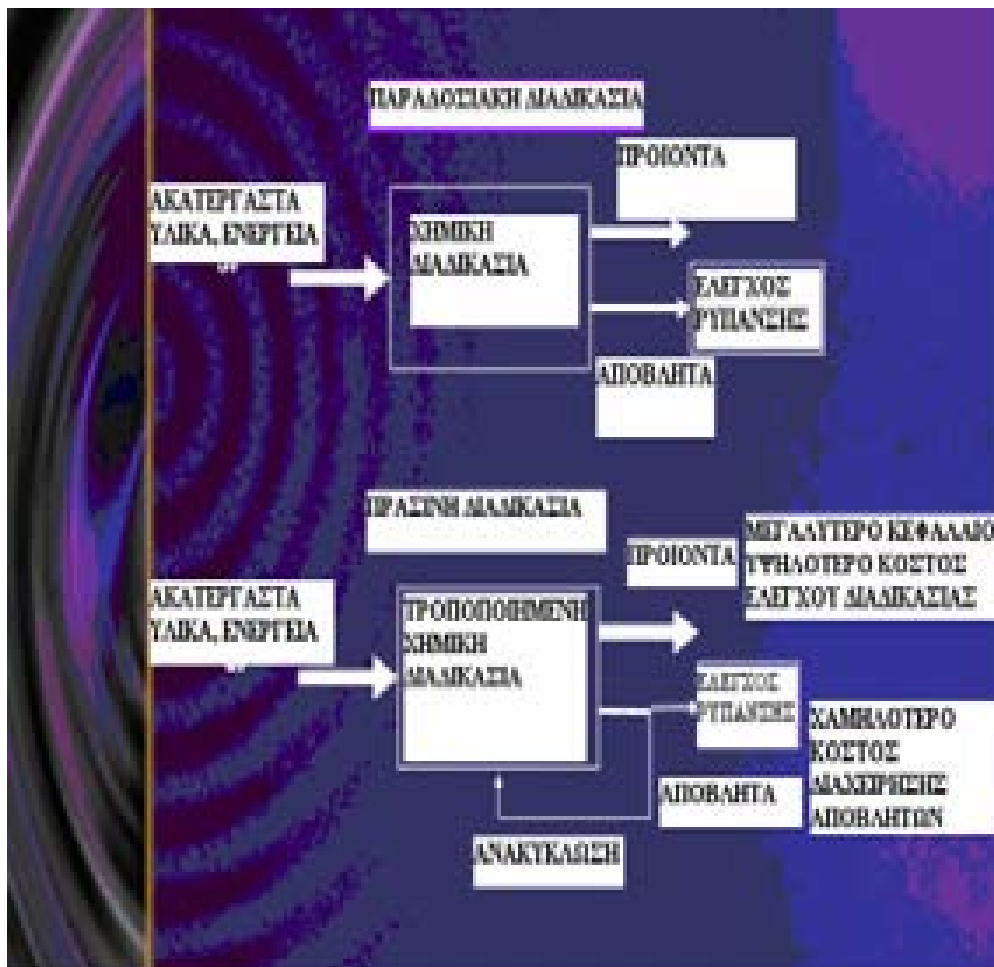
1. Οι σχεδιαστές πρέπει να καταβάλουν προσπάθειες ώστε να διασφαλίσουν ότι όλα τα υλικά και οι εισροές και εκροές ενέργειας είναι όσο το δυνατόν εγγενώς μη επικίνδυνα.
2. Είναι προτιμότερο να γίνεται πρόληψη των αποβλήτων παρά θεραπεία, δηλαδή λήψη μέτρων εφόσον αυτά έχουν δημιουργηθεί.
3. Διαδικασίες διαχωρισμού και καθαρισμού θα πρέπει οπωσδήποτε να αποτελούν συστατικά του πλαισίου εργασίας.
4. Προϊόντα, διαδικασίες και συστήματα θα πρέπει να αποσκοπούν στην μεγιστοποίηση μάζας, ενέργειας και αποδοτικότητας.
5. Προϊόντα, διαδικασίες και συστήματα θα πρέπει να είναι *output pulled* (εφόσον τράβηξε) και όχι *input pushed* («εισροών ωθείται) μέσω της χρήσης ενέργειας και των υλικών.
6. Η εντροπία και η πολυπλοκότητα πρέπει να αντιμετωπίζονται ως επένδυση, όταν προβαίνουν σε επιλογές σχεδιασμού για την ανακύκλωση, την επαναχρησιμοποίηση είτε την ευεργετική διάθεση-απόθεση.
7. Στόχος του σχεδιασμού πρέπει να αποτελεί η αντοχή και η ανθεκτικότητα και όχι η αθανασία.
8. Ως ελάττωμα θα πρέπει να θεωρείται ο σχεδιασμός για περιττή ικανότητα ή δυνατότητα (π.χ. «ένα μέγεθος ταιριάζει σε όλους»).
9. Τα πολύμορφα προϊόντα που απαρτίζονται από πολλά συστατικά θα πρέπει να ελαχιστοποιούνται με την αποσυναρμολόγηση και να προωθείται η διατήρηση αξίας (ελαχιστοποίηση της ποικιλίας των υλικών).
10. Η σχεδίαση προϊόντων διαδικασιών και συστημάτων θα πρέπει να περιλαμβάνει την ένταξη και την διασύνδεση με την διαθέσιμη ενέργεια και σε συνάρτηση με τη ροή των υλικών.
11. Τα προϊόντα, οι διαδικασίες και τα συστήματα θα πρέπει να είναι σχεδιασμένα για επιδόσεις που θα προσαρμόζονται σε μια εμπορική *“afterlife”*.
12. Ο σχεδιασμός πρέπει να βασίζεται σε ανανεώσιμες και άμεσα διαθέσιμες

εισροές [15,16,17].

1.2.5. Οι εννέα αρχές της Πράσινης Μηχανικής

Οι παρακάτω αρχές διατυπώθηκαν μέσω διαλόγου από περίπου 65 μηχανικούς και επιστήμονες, στα πλαίσια του συνεδρίου με θέμα: «Πράσινη Μηχανική: Σχεδιάζοντας τις Αρχές», που έλαβε χώρα στις 19 Μαΐου 2003 στο Sandestin Resort στο Destin της Florida, και είχε την υποστήριξη του Engineering Conferences International (Διεθνούς Οργανισμού Συνεδρίων Μηχανικών).

1. Οι διαδικασίες της μηχανικής και τα προϊόντα πρέπει να υιοθετήσουν μια ολιστική συμπεριφορά να χρησιμοποιούν συστήματα ανάλυσης και να ενσωματώνουν εργαλεία για την αποτίμηση των επιδράσεων που θα έχουν όλες οι παραπάνω διαδικασίες στο περιβάλλον.
2. Διατήρηση και βελτίωση των φυσικών οικοσυστημάτων με παράλληλη προστασία της ανθρώπινης υγείας και της ευημερίας.
3. Εκτίμηση του κύκλου ζωής ενός προϊόντος σε όλες τις διαδικασίες της μηχανικής.
4. Επιβεβαίωση ότι όλα τα υλικά και οι ενέργειες που λαμβάνουν μέρος στις διαδικασίες εισροής και εκροής είναι εξ' ολοκλήρου ασφαλή και όσο το δυνατόν ωφέλιμα.
5. Ελαχιστοποίηση της εξάντλησης των φυσικών πόρων.
6. Προσπάθεια για την αποφυγή αποβλήτων (πρόληψη αποβλήτων).
7. Προαγωγή και εφαρμογή λύσεων μηχανικής με παράλληλη γνώση της τοπικής γεωγραφίας των τοπικών προσδοκιών, φιλοδοξιών και του τοπικού πολιτισμού.
8. Δημιουργία μηχανικών λύσεων πέρα από τις ισχύουσες ή τις κυρίαρχες τεχνολογίες: βελτίωση, καινοτομία και εύρεση νέων τεχνολογιών για την επίτευξη της βιωσιμότητας.
9. Ενεργή συνεργασία μεταξύ κοινοτήτων και μετόχων-επενδυτών με στόχο την ανάπτυξη λύσεων μηχανικής [16,17].



Διαγραμμα ροής Α) για την παραδοσιακή διαδικασία παραγωγής
 Β) για την πράσινη διαδικασία παραγωγής[16]

NANOTEΧΝΟΛΟΓΙΑ
(NANOTECHNOLOGY)

2. Νανοτεχνολογία

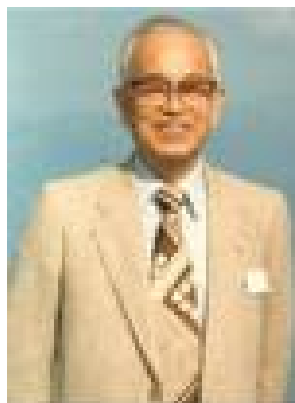
2.1 Τι είναι

Η επιστημονική κοινότητα έχει κατακλυστεί από μία πληθώρα διαφορετικών ορισμών για την έννοια της νανοτεχνολογίας, ή τι μπορεί αυτή να γίνει, ή τι θέλουμε να γίνει ή τι φοβόμαστε ότι θα γίνει. Είναι πολύ σημαντικό να αντιληφθούμε ότι κανένας από τους ορισμούς αυτούς δε μπορεί να θεωρηθεί πλήρης, ότι κανένας δηλαδή δεν την περιγράφει με απόλυτο τρόπο. Αυτό γιατί κάθε ορισμός δύναται να δει την έννοια της νανοτεχνολογίας από δική του σκοπιά. Έτσι εκτός από την καθαρά επιστημονική άποψη των θετικών επιστημών που αναφέρονται στον τρόπο επιστημονικής έρευνας, υπάρχουν, όπως θα δούμε στη συνέχεια της παρούσας εργασίας, και άλλοι ορισμοί που ορίζουν την νανοτεχνολογία από ηθική, πολιτική, και εμπορευματική σκοπιά.

Η ύπαρξη πολλών ορισμών είναι μία ενθαρρυντική ένδειξη ότι αυτός ο νέος κλάδος ενδιαφέρει μεγάλο κομμάτι της επιστημονικής κοινότητας, ο καθένας εκ των οποίων προσπαθεί να τον εναρμονίσει στις δικές του απαιτήσεις και να τον οριοθετήσει με τα δικά του πλαίσια. Αυτός ο συσχετισμός είναι λογικό να ανατρέψει κάπως τα καθιερωμένα όρια μεταξύ των διαφόρων επιστημών. Φαινόμενο το οποίο συμβαίνει και με άλλους αναπτυσσόμενους επιστημονικούς τομείς, όπως η βιοτεχνολογία. Η οποία μπορεί επίσης να εγείρει διαφόρων ειδών ανησυχίες όπως νομικές, ηθικές, φιλοσοφικές κοινωνικές, θρησκευτικές κ.α. Οι ανησυχίες που θα ανακύψουν μπορεί να οφείλονται σε διαφορετικά πειθαρχικά υπόβαθρα και διαφορετικές εθνικές επιστημονικές κατευθύνσεις.^[18]

Πριν ξεκινήσουμε να αναφέρουμε τους ορισμούς που έχουν διατυπωθεί, θα πρέπει να αναρωτηθούμε αν μιλάμε για νανοτεχνολογία ή νανοεπιστήμη; Θα μιλάμε για την νανοτεχνολογία και θα εννοούμε συγχρόνως την προσδιοριζόμενη επιστήμη αλλά και την τεχνολογία.

Ο Norio Tanigutsi από το Πανεπιστήμιο Επιστημών του Τόκιο, ήταν ο πρώτος που έδωσε έναν ορισμό για τη νανοτεχνολογία το 1974. Ο ορισμός που έδωσε αποδεικνύεται διαχρονικός, και είναι ο εξής: «Νανοτεχνολογία είναι η τεχνολογία παραγωγής με σκοπό την υπέρτατη ακρίβεια και τις υπέρ άριστες διαστάσεις, για



Εικ. 2.1 Norio Tanigutsi

παράδειγμα η ακρίβεια και η αρτιότητα στην κλίμακα 1nm(νανόμετρο), 10^{-9} μέτρα μήκους. Το όνομα Νανοτεχνολογία πηγάζει από αυτό το νανόμετρο. Στην επεξεργασία των υλικών, το μικρότερο μόριο απομάκρυνσης αποθέματος, επισώρευσης ή ροής υλικών είναι πιθανώς ενός ατόμου ή ενός μορίου δηλαδή 0,1-0,2nm σε μήκος. Επομένως, το αναμενόμενο όριο μεγέθους αρτιότητας θα είναι της κλίμακας του 1nm. Κατά συνέπεια η Νανοτεχνολογία κυρίως έγκειται στην επεξεργασία διαχωρισμού, εδραίωσης και παραμόρφωσης υλικών από ένα άτομο ή μόριο. Περισσότερο να λεχθεί ότι οι τεχνικές μέτρησης και ελέγχου της ακρίβειας και της αρτιότητας 1nm παίζουν ένα πολύ σημαντικό ρόλο σ' αυτήν την τεχνολογία. Στην παρούσα διατριβή,» του Norio Tanigutsi « η βασική έννοια της Νανοτεχνολογίας στην επεξεργασία των υλικών συζητείται σύμφωνα με τη μικροσκοπική συμπεριφορά των υλικών και ως αποτέλεσμα το ρετάρισμα ιόντων εισάγεται ως την πιο πολλά υποσχόμενη διαδικασία για την τεχνολογία».^[33]

Ίσως ο απλούστερος και ευρύτερος ορισμός είναι ότι η νανοτεχνολογία είναι έρευνα που εκτείνεται στα όρια της νανο-κλίμακας.^[18] (ο ορισμός της νανοκλίμακας και άλλων σχετικών εννοιών θα δοθούν στην επόμενη ενότητα)

Ένας πιο συγκεκριμένος ορισμός θα μπορούσαμε να πούμε ότι είναι αυτός που χρησιμοποιείται συχνά από το Εθνικό Ινστιτούτο Νανοτεχνολογίας των Ηνωμένων Πολιτειών της Αμερικής (US National Nanotechnology Institute). Ο επίσημος ορισμός του US NNI είναι ότι “η νανοτεχνολογία αναμειγνύει την έρευνα και την τεχνολογική πρόοδο σε ατομικό, μοριακό ή μεγάλο-μοριακό επίπεδο στο εύρος κλίμακας που εκτείνεται από το 1 έως τα 100nm, για να προμηθεύσουν μία ουσιαστική κατανόηση των φαινομένων και των υλικών της νανοκλίμακας, και να δημιουργήσει και να

χρησιμοποιήσει δομές, συσκευές και συστήματα που έχουν ασυνήθιστες ιδιότητες και λειτουργίες εξ αιτίας του μικρού και/ή ενδιάμεσου μεγέθους τους”^[18]

Ο ορισμός που χρησιμοποιείται από το CERTH (THE CENTRE FOR RESEARCH & TECHNOLOGY HELLAS) και το Εργαστηριακό Κέντρο Φυσικών Ερευνών Ρεθύμνου, είναι ο εξής: “Νανοτεχνολογία νοείται η δυνατότητα ελέγχου ή χειρισμού υλικών σε ατομική κλίμακα με στόχο την παραγωγή δομών με πρωτότυπες ιδιότητες και λειτουργίες που οφείλονται στο μέγεθός τους, στο σχήμα τους ή στη σύνθεσή τους”^[23] ^[24] Ορισμός αρκετά κοντινός με αυτόν που αναφέρθηκε προηγουμένως που προέρχεται από το US NNI.

Ένας ακόμη παρόμοιος ορισμός είναι ο εξής: “Η νανοτεχνολογία αναφέρεται σε ένα πεδίο του οποίου το θέμα είναι ο έλεγχος της ύλης σε ατομική και μοριακή κλίμακα. Γενικά η νανοτεχνολογία ασχολείται με δομές 100nm ή μικρότερες, και περιλαμβάνει την ανάπτυξη υλικών ή συσκευών σε αυτό το μέγεθος”^[19] Όπως ορίζεται η νανοτεχνολογία σύμφωνα με το ελεύθερο ηλεκτρονικό λεξικό Wikipedia του διαδικτύου.

Οι ορισμοί μεταβάλλονται ανά τον κόσμο, εξαρτώμενοι από τις εθνικές αντοχές. Κίνα, Ιαπωνία και Κορέα δίνουν έμφαση στα υλικά (κατασκευή νάνο-υλικών) και ιδιαίτερα στα ηλεκτρονικά (ανάπτυξη νάνο-ηλεκτρονικής). Ταυτόχρονα ερευνητές στην Αφρική και τη Λατινική Αμερική συχνά δίνουν έμφαση στα υλικά που σχετίζονται με την ιατρική και την επιστήμη του περιβάλλοντος.

Η Royal Society του Ηνωμένου Βασιλείου θέτει τον ορισμό μεταξύ νάνο-επιστήμης και νανοτεχνολογίας όπου ο φορμαλισμός περιλαμβάνει τη μελέτη και τη μεταχείριση σωματιδίων της νανοκλίμακας, και ύστερα τον σχεδιασμό, τον χαρακτηρισμό και την παραγωγή δομών, συσκευών και συστημάτων σε νάνο-κλίμακα.^[18]



Εικ. 2.2 Έμβλημα της Royal Society του Ηνωμένου Βασιλείου

Έχουν προταθεί ακόμη μερικοί πιο ειδικοί ορισμοί για τη νανοτεχνολογία και αναφέρονται κυρίως στην ικανότητα κατανόησης και παρακολούθησης ιδιοτήτων αντικειμένων στην νάνο-κλίμακα. Οι ιδιότητες αυτές είναι καινούργιες και είναι ιδιαίτερα ενδιαφέρον η προσπάθεια για την αξιοποίηση και την επεξεργασία τους προς σχηματισμό ασυνήθιστων συνδυασμών μορίων, νέων συσκευών ή και περίπτωση μικροσκοπικού εργαστηρίου. Ο ορισμός αυτός της νανοτεχνολογίας εμφανίζεται και με το όνομα ‘μεταποιητικό μορίων’. Ο ορισμός της νανοτεχνολογίας ως μεταποιητικές συσκευές σε νάνο-κλίμακα, παρά την απλή μελέτη αντικειμένων στην νάνο-κλίμακα έχει οδηγήσει μερικούς επιστήμονες να προτείνουν έναν ακόμη ορισμό – ή την αναδιατύπωσή του για αυτήν την περίπτωση.^[31]



Εικ. 2.3 Έμβλημα NSF (National Science Foundation’s)

Ένας ακόμη ορισμός της νανοτεχνολογίας προτείνεται από την NSF (National Science Foundation’s) Nano-Bio-Info-Cogno (NBIC) Convergence.^[32] Αυτός ο ορισμός προτείνει ότι η νανοτεχνολογία αναπαριστά ένα νέο είδος επιστήμης που προκύπτει από το σύμπλεγμα της Βιολογίας, τεχνολογίας της πληροφορίας και γνωστικής επιστήμης στην νάνο-κλίμακα.



Εικ. 2.4 Έμβλημα Nano-Bio-Info-Cogno (NBIC)

Τέλος υπάρχουν ορισμοί που προέρχονται από διάφορες ερευνητικές ομάδες. Οι ορισμοί αυτοί εξαρτώνται από τις προσδοκίες των ερευνητών, για τα αποτελέσματα της

έρευνάς τους. Μεταβάλλονται επίσης σύμφωνα με τα ενδιαφέροντα της κάθε εθνικής και κοινωνικής δράσης που ενδιαφέρονται για τη νανοτεχνολογία. Επειδή όμως τα προτεινόμενα αποτελέσματα βρίσκονται αρκετά μακριά από την πραγματική έρευνα, οι ορισμοί αυτοί δέχονται θερμή αμφισβήτηση.^[18]

2.2 Ο Χώρος εργασίας της

Η νανοτεχνολογία παρουσιάζει πολλές ανομοιομορφίες ακριβώς επειδή το πεδίο ερευνών της εκτείνεται σε πολλές κατευθύνσεις. Μπορεί να ξεκινήσει από ασυνήθιστες προεκτάσεις συμβατικών συσκευών της φυσικής, έως παντελώς νέες προσεγγίσεις βασιζόμενες στη μοριακή αυτό-συγκέντρωση, έως την ανάπτυξη νέων υλικών με διαστάσεις στη νάνο-κλίμακα, ακόμη και στην υπόθεση όπου θα μπορούμε να ελέγχουμε τα υλικά όταν αυτά βρίσκονται στην ατομικής τους κλίμακα.^[19]

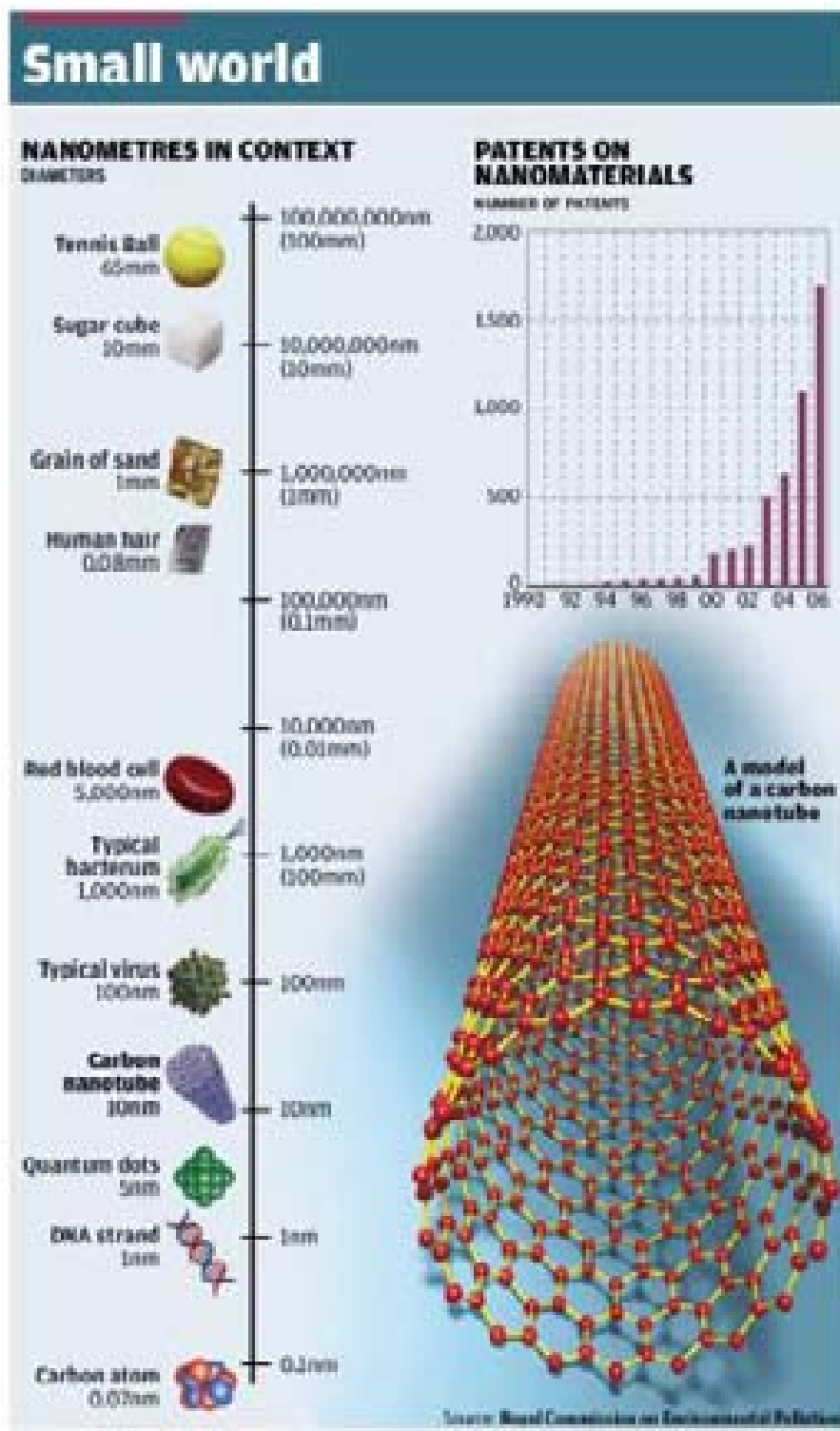
Έως τώρα κάναμε λόγω αρκετές φορές για τη νάνο-κλίμακα και γενικά για το μέγεθος των σωματιδίων και δομών με τα οποία ασχολείται η νανοτεχνολογία. Οι δομές αυτές είναι σε μέγεθος μικρότερες από 100nm. Ένα νάνο-μέτρο (1nm) είναι ένα δισεκατομμυριοστό του μέτρου, που περίπου αναλογεί σε 100,000 φορές μικρότερο από το πλάτος μιας ανθρώπινης τρίχας.^{[23] [24]}

Για σύγκριση ένας τυπικού μήκους δεσμού μεταξύ δύο ατόμων άνθρακα, ή ο χώρος αυτών των ατόμων σε ένα μόριο, βρίσκεται μεταξύ 0,12 – 0,15 nm, και μία διπλή έλικα DNA έχει διάμετρο 2 nm. Από την άλλη μεριά η μικρότερη κυτταρική μορφή ζωής, το βακτήριο του γένους *Mycoplasma*, έχει έκταση περίπου 200 nm.

Για να το θέσουμε σε ένα άλλο πλαίσιο, η σύγκριση του μεγέθους ενός νάνο-μέτρου με ένα μέτρο είναι το ίδιο όσο ενός βόλου με το μέγεθος της γης. Η με άλλη θεώρηση, ένα νάνο-μέτρο ισοδυναμεί με το μέγλωμα τις τρίχας στο μούσι ενός άντρα στο χρόνο που του παίρνει να σηκώσει το ξυράφι μέχρι το πρόσωπό του.^[19]

Όπως γίνεται εμφανές το μέγεθος των σωματιδίων, συσκευών και συστημάτων είναι απίστευτα μικρό. Όμως το μέγεθος αυτό είναι συγκρινόμενο με γνωστές έννοιες όπως τα άτομα, τα μόρια, η διπλή αλυσίδα του μεγάλο-μορίου του DNA, τα κύτταρα και

άλλα, από διάφορες επιστήμες όπως η Φυσική, η Βιολογία, η Χημεία και άλλες παρεμφερείς. Οι επιστήμες αυτές έχουν ασχοληθεί εδώ και εκατό χρόνια με αυτές τις δομές. Πως γνωρίζανε λοιπόν οι επιστήμονες τη λειτουργία αυτών των δομών πριν από την ανάπτυξη της νανοτεχνολογίας;



Εικ. 2.5 Η νανοκλίμακα σε σύγκριση με τις άλλες γνωστές διαστάσεις

Τα περισσότερα από όσα γνωρίζουμε για το πώς τα άτομα, τα μόρια και ο φυσικός κόσμος γενικότερα, συμπεριφέρεται βασίζεται σε έρευνες σε μεγαλύτερες κλίμακες και έπειτα με αναγωγή τους στην νάνο-κλίμακα ή μικρό-κλίμακα.

Υπάρχουν όμως υλικά των οποίων οι ιδιότητες που παρουσιάζονται σε μεγαλύτερη κλίμακα μπορεί να είναι αλλοιωμένες ή και εντελώς διαφορετικές. Ένα τέτοιο παράδειγμα είναι η ανάκλαση του φωτός από τον χρυσό. Σε μακρό-κλίμακα ένα τεμάχιο χρυσού φαίνεται στο γυμνό μάτι να λάμπει με το χαρακτηριστικό κίτρινο χρώμα που όλοι γνωρίζουμε. Όταν όμως μεταφερθούμε στο επίπεδο των μικροσκοπικών νάνο-σωματιδίων χρυσού, αυτά μπορεί να εμφανίζονται με κόκκινο χρώμα επειδή ανακλούν το κόκκινο φως του φάσματος. Άλλο παράδειγμα αποτελεί η αύξηση της ηλεκτρικής αγωγιμότητας του άνθρακα καθώς κατευθυνόμαστε από το μακροσκοπικό επίπεδο ενός διαμαντιού, στο μικροσκοπικό των νάνο-σωματιδίων άνθρακα. ^[18]

Οι ιδιότητες αυτές είναι καινοφανείς και μπορούν να αξιοποιηθούν σε ασυνήθιστες εφαρμογές. Γεγονός που ενθουσιάζει ιδιαίτερα όσους ασχολούνται με την έρευνα στον τομέα της Νανοτεχνολογίας.

Ένας από τους ορισμούς που παρουσιάσαμε για την νανοτεχνολογία είναι αυτός που αναφέρει ως νανοτεχνολογία την ικανότητα κατανόησης, παρακολούθησης και επεξεργασίας των νέων ασυνήθιστων ιδιοτήτων των υλικών σε αυτήν την κλίμακα, τη νάνο-κλίμακα.

Ορίζοντάς την με αυτόν τον τρόπο, τα αποτελέσματα της νανοτεχνολογίας θα προέρχονται από την προσπάθεια μηχανικών και επιστημόνων να φανταστούν τρόπους για κατασκευή όλων των ειδών τα προϊόντα και υλικά από τη βάση τους. Εννοώντας ότι θα κατασκευάζονται άτομο-άτομο χρησιμοποιώντας εργαστήρια νανοκλίμακας. Το πλεονέκτημα αυτή της προσέγγισης θα μπορούσε να είναι κοντά στην άπειρη ελαστικότητα δημιουργίας αντικειμένων, συσκευών, μηχανών και πολλών ειδών υλικά από συνένωση ατόμου-ατόμου μέχρι το επίπεδο της μακροσκοπικά οπτικής κατασκευής. Αυτός είναι ο ένας τρόπος προσέγγισης της νανοτεχνολογίας. Η εναλλακτική προσέγγιση, από το γενικό (μακροσκοπικό) στο επιμέρους (μικροσκοπικό) είναι αυτή που χρησιμοποιείται σήμερα. Χρησιμοποιούνται φυσικά και ανθρωπογενή

δεδομένα που προστέθηκαν ή κατασκευάστηκαν με αυτά χρησιμοποιώντας μία διαδικασία ειδικευμένη στο προϊόν^[18]

Κανένας επιστήμονας που εργάζεται τώρα δεν έχει κατασκευάσει μηχανές που δουλεύουν από το ειδικό στο γενικό. Ελάχιστοι εξάλλου είναι αυτοί που δουλεύουν σ' αυτόν τον τομέα.

Δύο λοιπόν είναι οι κύριες προσεγγίσεις που χρησιμοποιούνται στη νανοτεχνολογία. Στην προσέγγιση από το μικρό-επίπεδο στο μακρό-επίπεδο, υλικά και συσκευές κατασκευάζονται με συστατικά τα μόρια τα οποία συναθροίζονται χημικά με βάση τις αρχές της μοριακής αναγνώρισης. Στην προσέγγιση από το μακρό-επίπεδο στο μικρό-επίπεδο, τα νάνο-αντικείμενα κατασκευάζονται αποσπώντας τα από μεγαλύτερα δομικά στοιχεία χωρίς έλεγχο στο ατομικό επίπεδο.^[19]

Ένας αριθμός φυσικών φαινομένων καθίσταται σαφή καθώς το μέγεθος του συστήματος ελαττώνεται. Αυτά περιλαμβάνονται στο αντικείμενο μελέτης της στατιστικής μηχανικής, καθώς και της κβαντικής μηχανικής. Για παράδειγμα την επίδραση του κβαντικού μεγέθους, όπου οι ηλεκτρονικές ιδιότητες των στερεών έχουν μεταβληθεί με μεγάλη σμίκρυνση σε μοριακό μέγεθος. Αυτό το φαινόμενο δεν εμφανίζεται στο προσκήνιο πηγαίνοντας από τις μακρό- στις μικρό- διαστάσεις. Όμως δεσπάζει όταν φτάνουμε στην περιοχή μεγέθους του νάνο-μέτρου. Επιπροσθέτως, ένας αριθμός φυσικών (μηχανικών, ηλεκτρικών, οπτικών και άλλων) ιδιοτήτων αλλάζουν όταν συγκρίνονται με τα μακροσκοπικά συστήματα. Ένα παράδειγμα είναι η αύξηση στην περιοχή της επιφάνειας του λόγου της έντασης, μεταβάλλοντας τις μηχανικές, θερμικές και καταλυτικές ιδιότητες των υλικών. Οι ασυνήθιστες μηχανικές ιδιότητες των νάνο-συστημάτων είναι πεδίο έρευνας της νάνο-μηχανικής. Οι καταλυτικές δραστηριότητες των νάνο-υλικών ανοίγουν επίσης πιθανούς κινδύνους στην αλληλεπίδρασή τους με τα βίο-υλικά. Τα υλικά που υποβιβάζονται στην νάνο-κλίμακα μπορεί να εμφανίζουν διαφορετικές ιδιότητες συγκρινόμενες με αυτές που εμφανίζουν στη μακρό-κλίμακα, επιτρέποντας μοναδικές εφαρμογές. Για παράδειγμα, αδιαφανή υλικά γίνονται διαπερατά (χαλκός). Σταθερά υλικά μετατρέπονται σε εύφλεκτα (αλουμίνιο). Στερεά μετατρέπονται σε υγρά σε θερμοκρασία δωματίου (χρυσός). Μονωτές μετατρέπονται σε αγωγούς (πυρίτιο). Ένα υλικό όπως ο χρυσός, που είναι χημικά αδρανής σε κανονική κλίμακα, μπορεί να δουλέψει ως ισχυρός χημικός καταλύτης στην νάνο-κλίμακα. Μεγάλο μέρος της μαγείας της νανοτεχνολογίας πηγάζει

από τα κβαντικά και επιφανειακά φαινόμενα που παρουσιάζουν ενδιαφέρον στην νάνο-κλίμακα.^[19]

Ένας άλλος ορισμός που δόθηκε για την έννοια του όρου νανοτεχνολογία την προσδιορίζει ως μεταποιητική συσκευή. Η μελέτη της νάνο-τεχνολογίας ως μεταποιητική συσκευή αναφέρεται στη μεταποίηση αντικειμένων νάνο-μεγέθους με τα οποία ασχολούνται επιστήμες όπως η Βιολογία και η Χημεία. Το μόριο για παράδειγμα του ATP, το οποίο είναι ένα βασικό συστατικό του κυτταρικού κύκλου όλων των ζώντων οργανισμών, μπορεί να ονομαστεί πλέον ως νάνο-κινητήρας. Η προέκταση αυτή της νανοτεχνολογίας στην έμβια ύλη έχει ονομαστεί και με τον όρο νάνο-βιοτεχνολογία.^[18] Όμως η νανοτεχνολογία δεν περιορίζεται στην επανοργάνωση των λειτουργιών που η φύση έχει ήδη κατασκευάσει και ολοκληρώσει. Αντ' αυτού, η νανοτεχνολογία θα επιτρέψει την αναδιοργάνωση της ύλης άτομο προς άτομο προς νέες διαμορφώσεις, που θα δημιουργήσουν δομές μοριακής κλίμακας και μηχανές αρκετά ευπροσάρμοστες για να φέρουν την επανάσταση στην επιστήμη, στην ιατρική, στη γεωγραφία, στις κατασκευές, στην επιστήμη των υλικών, στην αεροδιαστημική, στην τεχνολογία πληροφοριών, στις τηλεπικοινωνίες και στις περισσότερες άλλες ανθρώπινες προσπάθειες.^[21]

Εφαρμογές τις οποίες θα αναπτύξουμε στη συνέχεια, βλέποντας τις θετικές προοπτικές που μας χαρίζουν, αλλά ταυτόχρονα και τις ανησυχίες τις οποίες εγείρουν.

Σύμφωνα με την UNESCO, η οποία αναγνωρίζει τις μεγάλες δυνατότητες, προοπτικές και ελπίδες του επιστημονικού κόσμου για ένα καλύτερο αύριο μέσω των αποτελεσμάτων της έρευνας στη νανοτεχνολογία, προτείνεται η συμμετοχή όλων των δυνατών κρατών, επιστημονικών ομάδων, φορέων και άλλων σχετικών με τη νανοτεχνολογία οργανώσεων σε μια κοινή προσπάθεια προσδιορισμού μίας γενικής κατεύθυνσης την οποία θα πρέπει να ακολουθηθεί στην έρευνα στη νανοτεχνολογία, ακόμη και αν δεν έχουν οι ίδιοι τη δυνατότητα ανάπτυξης έρευνας σε τέτοιο προχωρημένο επίπεδο. Αυτό, γιατί σε αντίθετη περίπτωση, η κατεύθυνση της έρευνας και η εφαρμογές της θα εξυπηρετούν τα συμφέροντα αυτών (εταιρίες, κυβερνήσεις ή άλλους) και μόνο αυτών που θα την αναπτύξουν. Και η κατεύθυνση αυτή δεν θα οδηγήσει στο παγκόσμιο κοινωνικό συμφέρον.^[18]

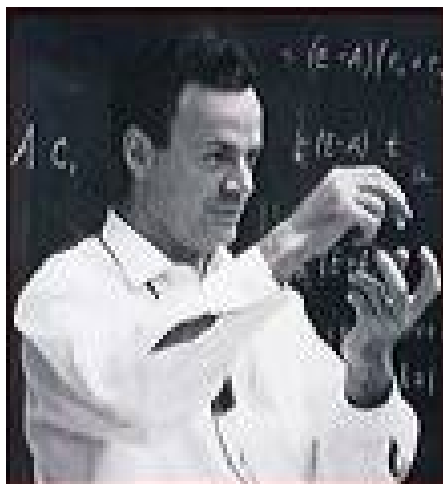
2.3 Η Εμφάνισή της

Σε μία τόσο ελπιδοφόρα και ενδιαφέρουσα επιστήμη, όπως η νανοτεχνολογία αξίζει τον κόπο να την πάρουμε από την αρχή. Να δούμε πως ξεκίνησε αυτή η επιστήμη. Τι ήταν αυτό που άναψε τη σπίθα για την εξερεύνηση σε αυτήν την κλίμακα της ύλης. Ποιος ή ποιοι είναι αυτοί που την οραματίστηκαν, και ποιοι βοήθησαν στην ανάπτυξη και εξέλιξή της. Όλα αυτά και ακόμη περισσότερα θα τα ανακαλύψουμε κάνοντας μία αναδρομή στο ιστορικό και επιστημονικό παρελθόν.

Υπάρχει η άποψη ότι η νανοτεχνολογία ξεκινάει μαζί με την ανάπτυξη γενικότερα της επιστήμης και δεν είναι μία τόσο νέα ιδέα όπως πιστεύουμε. Έτσι από την εποχή της αρχαίας Ελλάδας, ο Δημόκριτος και ο Λεύκιππος ήδη από το 440π.Χ. είχαν προσπαθήσει να οραματιστούν το μικρότερο δυνατό κομμάτι ύλης, που δεν θα μπορούσε πλέον να διασπαστεί, και για αυτό το ονόμασαν άτομο. Αυτή είναι και η πρώτη προσπάθεια ερμηνείας του μικρόκοσμου.

Την ιδέα των Δημοκρίτου και Λευκίππου χρησιμοποίησε 2200 σχεδόν χρόνια αργότερα (το 1803) ο διάσημος φυσικός επιστήμονας John Dalton κατά την παρουσίαση της ατομικής του θεωρίας σε διάλεξη που πραγματοποίησε σε μία συνεδρίαση της Φιλοσοφικής Εταιρίας του Μάντσεστερ. Όπου όχι μόνο επέστρεψε στην θεωρία των δύο Ελλήνων, αλλά χρησιμοποίησε και το ίδιο όνομα για το στοιχειώδες κομμάτι ύλης που θεώρησε ως θεμελιωτή των πάντων, δηλαδή άτομο. Και αυτήν την επιλογή την έκανε γιατί θεώρησε ότι με τη λέξη άτομο, γίνεται η καλύτερη δυνατή περιγραφή αυτής της στοιχειώδους δομής.^[20]

Η πρώτη σαφής επιστημονική αναφορά στην νανοτεχνολογία, έγινε από τον βραβευμένο με Νόμπελ Φυσικής, φυσικό Richard P. Feynman, κατά την ομιλία του στην Αμερικανική Φυσική Εταιρία το 1959. Η ομιλία του με τίτλο “There’s plenty of Room at the Bottom”, έκανε αναφορά στην νανοτεχνολογία χωρίς την χρήση αυτού του όρου, που δεν είχε ακόμη προσδιοριστεί.



Εικ. 2.6 Richard P. Feynman

Ο Feynman στην ομιλία του αναρωτιέται γύρω από όλους τους πιθανούς τρόπους με τους οποίους μπορεί να εξερευνηθεί ο υπό-μικροσκοπικός κόσμος. Εκθέτει επίσης μία σειρά πραγμάτων που νομίζει ότι θα είναι εύκολο να κατορθωθούν στο κοντινό μέλλον. [34]

Ανέφερε ότι θα μπορεί κάποιος να γράψει ολόκληρη της Εγκυκλοπαίδεια Μπριτάνικα πάνω στο κεφάλι μιας καρφίτσας που είναι το 1/25.000 του κανονικού μεγέθους, μίλησε για σμίκρυνση του μεγέθους των υπολογιστών και για την ανάπτυξη μιας μεθόδου και των απαραίτητων εργαλείων ώστε να πραγματοποιείται ένας απευθείας χειρισμός των ατόμων και μορίων.

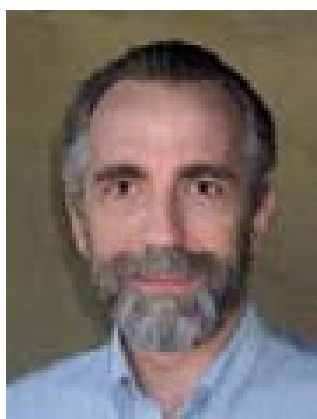
Μάλιστα για να παρακινήσει τους επιστήμονες, που τον άκουγαν αλλά και άλλους που θα τους γινόταν γνωστή η ομιλία του, να αρχίσουν να εξερευνούν τον υπο-μικρόκοσμο με μεγαλύτερο ζήλο, προκήρυξε ένα διαγωνισμό. Ο διαγωνισμός αφορούσε την κατασκευή ενός μικρό-κινητήρα και την συγγραφή έστω μίας σελίδας της εγκυκλοπαίδειας στο κεφάλι μιας καρφίτσας, το οποίο να μπορεί να διαβαστεί από μικροσκόπιο. Οι δύο νικητές του διαγωνισμού θα έπαιρναν και χρηματικό έπαθλο 1000 δολαρίων.^[20]

Το έτος 1974 δίνεται ο ορισμός της Νανοτεχνολογίας από τον καθηγητή του πανεπιστημίου του Τόκιο Norio Taniguchi που αναφέρθηκε στην προηγούμενη ενότητα.^[20]

Το 1981 εφευρίσκεται το μικροσκόπιο αντίχνευσης μέσω φαινομένου σήραγγας (STM) που επιτρέπει την οπτική παρατήρηση μεμονωμένων μορίων, μέσω της

δημιουργίας εικόνων των επιφανειών, ατομικής ανάλυσης (μία οπτική αναπαράσταση του ατόμου). Οι εφευρέτες του STM, Heinrich Rohrer και Gerd Karl Binnig, παίρνουν το βραβείο Νόμπελ πέντε χρόνια αργότερα. Το βραβείο μοιράζονται με τον Ernst Ruska, που σχεδίασε το πρώτο ηλεκτρονικό μικροσκόπιο.

Το ίδιο έτος δημοσιεύεται το πρώτο επιστημονικό έγγραφο για τη νανοτεχνολογία, στην Εθνική Ακαδημία των Επιστημών των Η.Π.Α. με τίτλο “Μοριακή Μηχανική: Μία προσέγγιση στην ανάπτυξη γενικών ικανοτήτων για μοριακό χειρισμό”, του Δρ Κ. Eric Drexler. Στο βιβλίο αυτό ενισχύει τη θεωρία ότι οι επιστήμονες θα είναι σε θέση σύντομα να κατασκευάσουν σύνθετες τεχνητές μοριακές μηχανές.^[21]



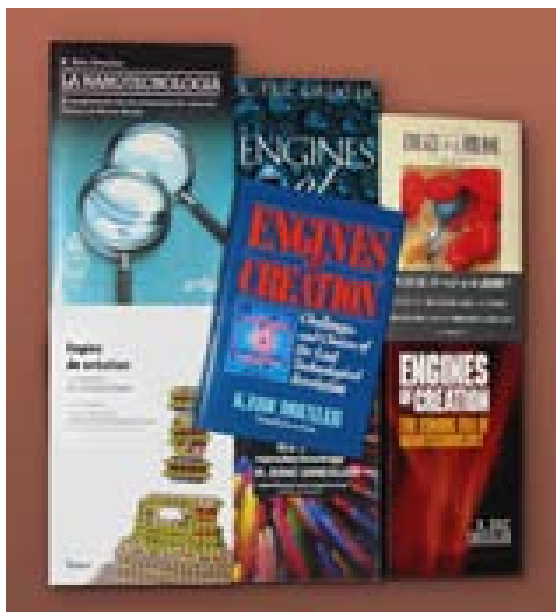
Εικ 2.7 Ο Eric Drexler

Ο Eric Drexler είναι ένας φανατικός οραματιστής της νανοτεχνολογίας. Είναι γνωστός σαν αυτός που έφερε την επανάσταση της νανοτεχνολογίας στο σημείο που βρίσκεται σήμερα. Έστρεψε την προσοχή του κοινού στην νανοτεχνολογία, εκπαίδευσε αυτούς που στο μέλλον θα ασχολούνταν με την ανάπτυξη της νανοτεχνολογίας και κατέχει το πρώτο PhD στην νανοτεχνολογία.^[20]

Ο Drexler έχει γράψει ακόμη μερικά βιβλία που αναφέρονται στη νανοτεχνολογία. Το 1986 εκδόθηκε το βιβλίο του “Μηχανές Δημιουργίας: Η Επερχόμενη Εποχή της Νανοτεχνολογίας”^[35].

Ένα βιβλίο ‘ιστορίας του μέλλοντος’ στο οποίο καθορίζει τους όρους της νανοκλίμακας μέσα στην οποία θα λειτουργεί η νανοτεχνολογία. Στο βιβλίο αυτό περιγράφει το όραμά του για έναν κόσμο όπου η δυνατότητα επεξεργασίας των ατόμων θα επέτρεπαν στους ανθρώπους να κατασκευάσουν από ατομικό επίπεδο ό,τι έχουν ανάγκη-από αυτοκίνητα μέχρι κρέας για φαγητό- χρησιμοποιώντας άχρηστα υλικά. Τα υλικά αυτά θα αποτελούσαν τις πρώτες ύλες τροφοδοσίας μηχανών, οι οποίες με ανασυναρμολόγηση

σε νανοεπίπεδο, θα κατασκεύασαν το επιθυμητό προϊόν. ^[18] Αρκετά φανταστική θεώρηση.



Εικ. 2.8 Το βιβλίο “Engines of creation” του Eric Drexler και άλλα βιβλία του

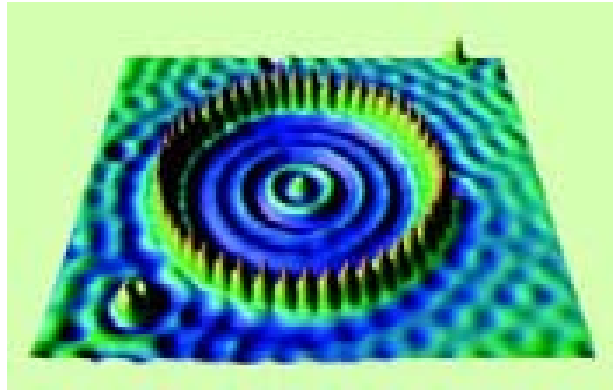
Το ίδιο έτος ιδρύεται το ίδρυμα προηγμένων τεχνολογιών που προσπαθεί να προετοιμάσει την κοινωνία για τις προσδοκώμενες προηγμένες τεχνολογίες. Με εστίαση στη μοριακή νανοτεχνολογία και τις ευρείες μελλοντικές επιπτώσεις των κατασκευασμένων υλικών και των προϊόντων με ατομική ακρίβεια.^[21]

Με την υποσχέσιολογία και εφαρμογές της νανοτεχνολογίας ασχολήθηκαν επίσης αρκετοί επιστήμονες. Ένας από αυτούς ήταν ο διαπρεπής επιστήμονας Richard Smalley του πανεπιστημίου του Rice, ο οποίος κατηγορήσε των Drexler ότι φοβίζει τους ανθρώπους, διακηρύσσοντας δημόσια απόψεις, που βασίζονται σε κακής ποιότητας επιστημονικούς συλλογισμούς.^{[36][18]}

Την ίδια περίοδο ο Gerd Binnig συμμετέχει επίσης στην εφεύρεση του μικροσκοπίου ατομικής ισχύος (AFM) στην IBM, στη Ζυρίχη της Ελβετίας. Το AFM διατέθηκε στο εμπόριο το 1990 και λειτουργεί με αρχές αρκετά παρόμοιες με ένα κλασικό γραμμόφωνο.^[18]

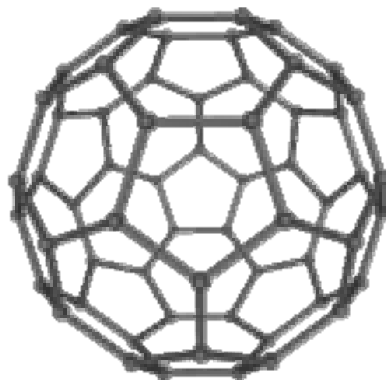
Ένας από τους ικανότερους στη χρήση εργαλείων όπως το AFM και το STM είναι ο Donald Eigler εκ των ερευνητών της IBM στο Almaden της Καλιφόρνια. Το έτος 1989, ο Eigler επέδειξε με χρήση STM την μετακίνηση και τοποθέτηση μεμονωμένων μορίων σε ακριβείς θέσεις. Το πρώτο πείραμα έγινε με χρήση 35 ατόμων Ξένου σε μία

λυχνία κενού για να σχηματίσουν τη λέξη «IBM». Αργότερα ο Eigler και οι φοιτητές του χρησιμοποιώντας το STM δημιούργησαν τη λεγόμενη «quantum corral» (κβαντική μάντρα), το οποίο παριστάνει εικονικά τον κυματο/σωματιδιακό δυϊσμό των ηλεκτρονίων στην ατομική κλίμακα. ^[18]



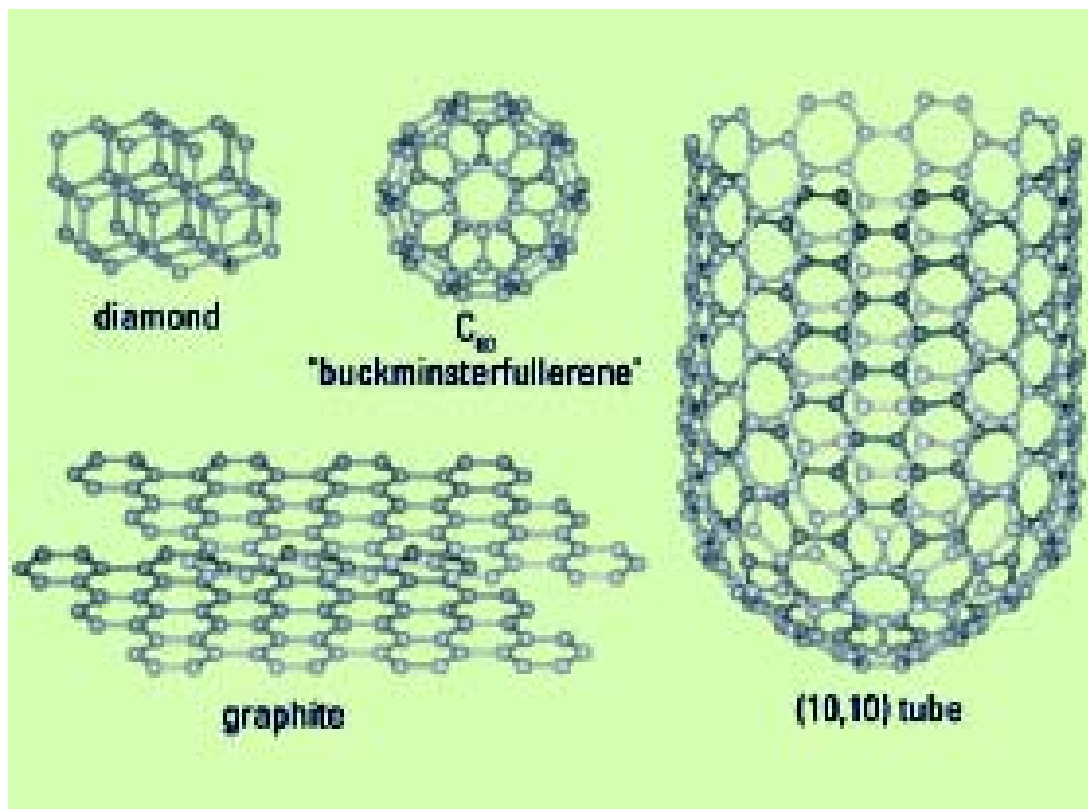
Εικ. 2.9 Το quantum corral σε αναπαράσταση

Μία εκπληκτική ανακάλυψη που συνεισέφερε αρκετά στην έξαρση του ενθουσιασμού για τη νανοτεχνολογία ήταν η ανακάλυψη των buckyballs ή αλλιώς buckminsterfullerenes, τα οποία είναι μόρια με σχήμα μπάλας ποδοσφαίρου αποτελούμενα από 60 άτομα άνθρακα.



Εικ. 2. 10 Αναπαράσταση δομής ενός Buckminsterfullerene C60

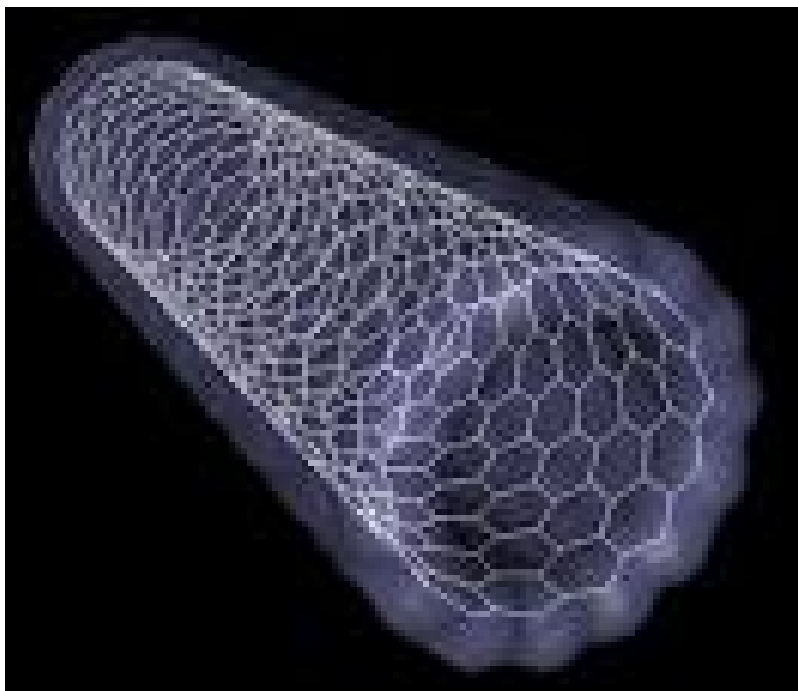
Οι buckyballs C₆₀ όπως και άλλες φαινομενικά σφαιρικές δομές άνθρακα, όπως οι C₇₀ και άλλα αναπληρωματικά παράγωγα είναι ευρύτερα γνωστά ως fullerenes.



Εικ. 2.11 Διάφορα είδη Νανοδομών άνθρακα

Βαπτιστής τους ήταν ο φουτουριστής αρχιτέκτονας Buckminster Fuller. Αποτελούνται ολοκληρωτικά από άνθρακα, αλλά οι ιδιότητές τους είναι ιδιαίτερες σε σχέση με αυτές του απλού άνθρακα. Οι buckyballs αρχικά συντέθηκαν χρησιμοποιώντας μία πολύπλοκη συσκευή, κατασκευασμένη για να εξαερώνει και να συμπιέζει το γραφίτη περνώντας μέσα από μία μικρή οπή. Ο Robert Curl τα χαρακτηρίζει σαν 60 άτομα άνθρακα διατεταγμένα εναλλάξ σε πεντάγωνα και εξάγωνα. Τα μόρια αυτά τράβηξαν την προσοχή των ερευνητών Robert Curl, Richard Smalley και Harold Kroto λόγω των εκπληκτικών ιδιοτήτων που εμφάνιζαν και μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν. Το 1996 τους απονεμήθηκε το βραβείο Νόμπελ για την εργασία τους.

Το 1991 ανακαλύπτονται από τον Sumio Iijima, που εργαζόταν στη NEC, στην Ιαπωνία, οι νανοσωλήνες άνθρακα. Αποτελούνται ουσιαστικά από ένα μακρύ κύλινδρο από άνθρακα και μισό buckyball σε κάθε άκρο του.



Εικ. 2.12 Αναπαράσταση ενός νανοσωλήνα μονού τοιχίου

Οι νανοσωλήνες εμφανίζονται με δομή μονού τοιχίου (SWNTs) και δομή πολλαπλού τοιχίου. Οι δομές SWNTs είναι πιο ευμετάβλητα από τη δομή των buckyballs. Είναι οι σκληρότερες και πιο ευλύγιστες δομές υλικού που έχουν ποτέ κατασκευαστεί. Έχουν υψηλή ηλεκτρικά αγωγιμότητα (σε σύγκριση με το χαλκό και το χρυσό) καθώς και υψηλή θερμική αγωγιμότητα. Οι ιδιότητές τους έχουν δημιουργήσει μεγάλο ενθουσιασμό και αυξάνουν τις προβλέψεις για εφαρμογή τους. Προς το παρόν όμως υπάρχει δυσκολία στην παραγωγή μεγάλων ποσοτήτων SWNTs, και οι ποσότητες που παράγονται προορίζονται για πειραματική χρήση σε συγκροτημένα εργαστήρια και πανεπιστήμια. ^[18]

Το ίδιο έτος ιδρύεται το ίδρυμα για τη μοριακή κατασκευή. Η πρώτη μη κερδοσκοπική οργάνωση για να πραγματοποιήσει έρευνα και ανάπτυξη στις μοριακές κατασκευές και τη μοριακή νανοτεχνολογία. ^[21]

Επίσης το 1991 ο Eric Drexler εκδίδει το βιβλίο του “Ξεδιπλώνοντας το μέλλον: Η Επανάσταση της Νανοτεχνολογίας”. ^[20]



Εικ. 2.13 Ο ανακατασκευαστής ύλης του Drexler

Μετά από δυο χρόνια, το 1993, Κατορθώνεται η σύνθεση οργανικού νανοσωλήνα. Οι επιστήμονες στο Επιστημονικό ίδρυμα Weizmann του Ισραήλ, δημιουργούν τις πρώτες νανοδομές.^[21]

Ίσως η μικρότερη συσκευή που έχει επιτευχθεί ως τώρα είναι η ‘quantum dot’ ή ‘κβαντική τελεία’. Κατασκευάστηκε για να εγκλωβιστεί ένα ηλεκτρικό φορτίο που μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως βάση για έναν υπολογιστή. Οι κβαντικές τελείες έχουν γίνει θέμα διερεύνησης και πειραμάτων από τις αρχές της δεκαετίας του ’90 αλλά δεν έχουν χρησιμοποιηθεί ακόμη. Λόγω των ιδιαίτερων φωτοφυσικών χαρακτηριστικών τους, έχει προχωρήσει μία έρευνα για χρήση τους στην βιοϊατρική απεικόνιση. (Το θέμα θα αναφερθεί και στις εφαρμογές της πράσινης Νανοτεχνολογίας).^[18]

Το 1997 ιδρύεται η Zynex ως πρώτη εταιρία Μοριακής Νανοτεχνολογίας, από τον James von Her II.

Το 1999 ιδρύεται η Technology Founded ως η παγκόσμια κορυφαία επιχείρηση νανομετάλλων, από τους Larry Welch και Joe Martin.

Μέσα στο ίδιο έτος επιστήμονες δημιουργούν διακόπτη υπολογιστών μοριακής κλίμακας. Οι επιστήμονες Mark Reed και James M. Tour δημιουργούν έναν οργανικό διακόπτη σε ένα μοναδικό μόριο, αποδεικνύοντας ότι οι ηλεκτρονικές και υπολογιστικές συσκευές μπορούν να αναπτυχθούν σε μοριακό επίπεδο. Ο άθλος αυτός προετοιμάζει το έδαφος για τη ριζικά νέα γενιά των «τρανζίστορς» που θα είναι τόσο μικροί που μια

μικρή κούπα από αυτά θα περιέχει περισσότερα τρανζίστορες από όσα υπάρχουν στον κόσμο σήμερα. ^[21]

Η περαιτέρω χρονική ανασκόπηση γεγονότων είναι ανώφελη καθώς διαδραματίζονται πολλά γεγονότα σε παγκόσμιο επίπεδο, που δεν μπορούν να αριθμηθούν.

2.4 Η Νανοτεχνολογία σήμερα

Είναι σημαντικό όμως να κάνουμε μια αναφορά στην κατάσταση της νανοτεχνολογίας σήμερα. Εννοώντας τις κρατικές και ιδιωτικές επενδύσεις σε αυτήν, τα ερευνητικά προγράμματα που τρέχουν, σε ποια πεδία κινείται η έρευνα, με ποια εργαλεία και μεθόδους γίνεται.

Από το 1996 πρώτη η κυβέρνηση των Η.Π.Α. άρχισε να σκέφτεται σοβαρά τη χρηματοδότηση των ερευνών στη νανοτεχνολογία. Ύστερα ακολούθησαν κι άλλες χώρες του κόσμου που θα δούμε στη συνέχεια. Το 2001 η κυβέρνηση των Η.Π.Α. λάνσαρε την Εθνική Πρωτοβουλία για τη Νανοτεχνολογία (National Nanotechnology Initiative), προσπαθώντας να οργανώσει τον τρόπο χρηματοδότησης των ερευνών. Το εθνικό ίδρυμα επιστήμης των Η.Π.Α. υπήρξε το πιο χρηματοδοτημένο ίδρυμα, με ανάπτυξη πολλών περιφερειακών κέντρων, που ειδικεύονται σε διάφορους τομείς της νανοτεχνολογίας. Μέχρι το 2005 δημιουργήθηκαν 14 τέτοια κέντρα από τα οποία διανέμονταν στους ερευνητές οι κρατικές επιχορηγήσεις, συντονίζοντας παράλληλα τους στόχους των εργασιών τους. ^[18]

Μεγάλο μέρος της χρηματοδότησης των ερευνών γίνεται μέσω της Υπηρεσίας Τεχνολογικών Ερευνών του υπουργείου Εθνικής Άμυνας. Η Ν.Α.Σ.Α. επίσης συμμετέχει ενεργά στη δημιουργία νανοσυσκευών υψηλής τεχνολογίας. Σε ακαδημαϊκό επίπεδο ξεχωρίζει το τμήμα νανοτεχνολογίας του Πανεπιστημίου του Cornell, το οποίο επιχορηγείται κάθε χρόνο με ένα ποσό της τάξης των 6 εκατομμυρίων ευρώ μόνο για την έρευνα, ενώ διαθέτει τεχνικό εξοπλισμό αξίας 30 εκατομμυρίων δολαρίων. Σύμφωνα με το διευθυντή των εργαστηρίων του Πανεπιστημίου, κύριο Clark, το Cornell έχει εξελιχθεί στην ουσία σε εθνικό κέντρο Νανοτεχνολογίας των Η.Π.Α.. Ο ίδιος ο

Clark αναφέρει για την αξία της Νανοτεχνολογίας “Η δυναμική των Νανοσυσκευών στον εμπορικό τομέα αυτή τη στιγμή (2003) δεν είναι ιδιαίτερα υψηλή, αφού προς το παρόν μιλάμε για έναν τζίρο παγκοσμίως της τάξης των 10 δις δολαρίων, αναμένουμε όμως δεκαπλασιασμό του τζίρου μέσα στην επόμενη πενταετία”. [27]

Ενδεικτικό της ενθουσιώδους υποδοχής της νανοτεχνολογίας, κυρίως από τον βιομηχανικό κόσμο αποτελεί το νομοθέτημα που υπέγραψε (το 2004) ο τότε πρόεδρος των ΗΠΑ Τζ. Μπους «The 21st Century Nanotechnology Research and Development Act»: μέσω αυτού, την τετραετία 2005-2009 θα διατεθούν 3,7 δις. δολάρια για την ανάπτυξή της. [26]

Ακολουθώντας τα βήματα των Η.Π.Α., στην Ιαπωνία, τα Υπουργεία Παιδείας, Πολιτισμού, Αθλητισμού, Επιστημών και Τεχνολογίας πρόσφεραν περίπου 250 εκατομμύρια δολάρια σε ανάπτυξη διάφορων τομέων της Νανοτεχνολογίας. Στην ίδια χώρα η Mitsubishi, έχει ξεκινήσει μία σημαντική προσπάθεια για δημιουργία μεγαλύτερου όγκου νανοδομών (fullerenes). [37]

Η Royal Society του Ηνωμένου Βασιλείου αναφέρει ότι το τρέχον επίπεδο ερευνών της Ευρωπαϊκής Ένωσης είναι περίπου 1δις ευρώ, και ότι το Ηνωμένο Βασίλειο ξοδεύει την τρέχων περίοδο 45εκατομμύρια λίρες κατά προσέγγιση ετησίως. Άλλες χώρες που συμμετέχουν στην έρευνα και ανάπτυξη της Νανοτεχνολογίας με εθνικά προγράμματα είναι η Κίνα, η Ισλαμική Δημοκρατία του Ιράν, η Βραζιλία και το Ισραήλ. [18]

Πίνακας 2.1: Συνολικές δαπάνες των τριών μεγαλύτερων κρατικών φορέων έρευνας κι ανάπτυξης στην Νανοτεχνολογία (σε εκατ.\$).

	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004
ΗΠΑ	117	190	255	270	696,7	862	862	961
Ε.Ε.	128	139,8	164,7	184	458,7	762,7	762,7	978,2
ΙΑΠΩΝΙΑ	120	135	157	245	993	870	870	980
TOTAL	365	464,8	576,7	699	1193,4	2048,4	2494,7	2919,2

Πηγή : NNI, CMP Cientifica 2002, CSTP, NSF, E.U.

Οι πρώτες παρατηρήσεις και μετρήσεις στο μέγεθος νανοσωματιδίων έγιναν κατά τη διάρκεια της πρώτης δεκαετίας του 20^{ου} αιώνα. Οι έρευνες αυτές είναι συνδεδεμένες με το όνομα του Zsigmondy, ο οποίος έκανε μελέτες πάνω σε επιφάνειες χρυσού και άλλων νανοϋλικών. Δημοσίευσε μάλιστα και ένα βιβλίο το 1914. Στην έρευνά του χρησιμοποίησε υπερμικροσκοπία, που χρησιμοποιεί μία μέθοδο σκοτεινού πεδίου για την παρατήρηση αντικειμένων σε πολύ μικρότερα μεγέθη από το μήκος κύματος του φωτός.^[38]

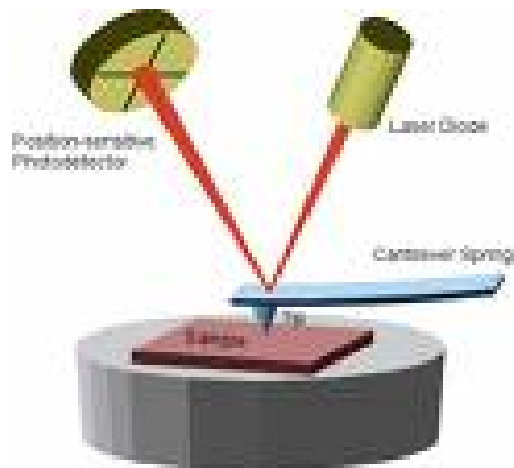
Κατά τη διάρκεια του 20^{ου} αιώνα αναπτύχθηκαν κάποιες παραδοσιακές τεχνικές της επιστήμης για το χαρακτηρισμό των νανοϋλικών. Οι μέθοδοι αυτοί χρησιμοποιήθηκαν στα λεγόμενα πρώτης γενιάς νανοϋλικά.

Ο χαρακτηρισμός των σωματιδίων αυτών είναι αναγκαίος, καθώς πολλά από τα υλικά που περιμένουμε να είναι σε νανομέγεθος στα πραγματικά αποτελέσματα εμφανίζουν μεγαλύτερη συγκέντρωση. Κάποιες από τις τεχνικές βασίζονται στη διασπορά του φωτός. Άλλες απαιτούν υπερήχους, όπως η φασματοσκοπία εξασθένησης υπερήχων.^[39] Τέλος μία ομάδα από τις παραδοσιακές μεθόδους χαρακτηρισμού χρησιμοποιούνταν για τον προσδιορισμό του φορτίου επιφανείας, ή του δυναμικού των προκυπτόντων νανοσωματιδίων.^[19]

Η επόμενη ομάδα νανοτεχνολογικών τεχνικών είναι αυτές που χρησιμοποιούνται για την κατασκευή των νανοκαλωδίων, που χρησιμοποιούνται στην κατασκευή ημιαγωγών, όπως η λιθογραφία υπεριώδους, η λιθογραφία δέσμης ηλεκτρονίων, στη μηχανική με δέσμη ιόντων, λιθογραφία νανοαποτύπωσης, απόθεση ατομικού στρώματος, εξάτμιση μοριακού στρώματος και άλλων συμπεριλαμβανομένων τεχνικών μοριακής αυτό-συγκέντρωσης.^[19]

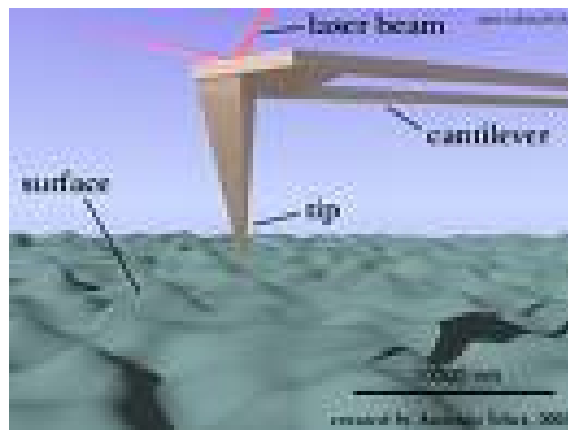
Τώρα πλέον υπάρχουν αρκετά μοντέρνα εργαλεία για νανοκατασκευή. Το μικροσκόπιο ατομικής δύναμης (AFM) και το μικροσκόπιο σύραγγος (STM) είναι δύο πρώιμες εκδοχές σαρωτών που λάνσαρε η νανοτεχνολογία.^[19]

Το (STM) όπως έχουμε αναφέρει βασίζει τη λειτουργία του στην εκμετάλλευση ενός παράξενου φαινομένου της κβαντικής μηχανικής, το φαινόμενο σύραγγος, όπου ένα σωματίδιο έχει την πιθανότητα να ξεπεράσει ένα φράγμα δυναμικού μεγαλύτερο από την ενέργεια που έχει το ίδιο το σωματίδιο.



Εικ. 2.14 Λειτουργία μιας μικροκατασκευής AFM

Ένα (AFM) αποτελεί μία μικροκατασκευή. Αποτελείται από έναν πλαγιασμένο λεβιέ με κοφτερή μύτη που εκτρέπεται από το ανάγλυφο μιας επιφάνειας, όπως λειτουργούσε ο φωνόγραφος αλλά σε πολύ μικρότερη κλίμακα. Μια δέσμη λέιζερ ανακλάται μέσω του πίσω μέρους του λεβιέ σε ένα σύνολο φωτοαισθητήρων, επιτρέποντας τη μέτρηση και καταγραφή των εκτροπών του σε μία απεικόνιση της επιφάνειας. ^[19]



Εικ. 2.15 Αναπαράσταση λειτουργίας AFM σε ανάγλυφης επιφάνειας

Υπάρχουν και άλλοι τύποι σαρωτών μικροσκοπίας που προέρχονται από τις ιδέες του Marvin Minsky, 1961, και του σαρωτή ακουστικής μικροσκοπίας (SAM) που αναπτύχθηκε από τον Calvin Quate και τους συνεργάτες του τη δεκαετία του '70, που έκαναν δυνατή την οπτική παρατήρηση των δομών της νανοκλίμακας. Τα ίδια εργαλεία μπορούν να χρησιμοποιηθούν και για την επεξεργασία των νανοδομών. ^[19]

2.4.1 Η Νανοτεχνολογία στην Ελλάδα

Στη χώρα μας η έρευνα πάνω στη νανοτεχνολογία δεν είναι αρκετά αναπτυγμένη. Πραγματοποιείται σε τμήματα Πανεπιστημιακών σχολών, τα οποία προσφέρουν και Μεταπτυχιακούς Τίτλους Ειδίκευσης στον τομέα της Νανοτεχνολογίας, όπως το τμήμα Φυσικής του Αριστοτελείου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης. Σε μερικά ερευνητικά κέντρα, όπως το CERTH (THE CENTRE FOR



Εικ. 2.16 Το έμβλημα του CERTH

RESEARCH & TECHNOLOGY HELLAS) το οποίο έχει οργανώσει και μία πολύ καλή ιστοσελίδα, για ενημέρωση παντός ενδιαφερομένου για θέματα που αφορούν τη νανοτεχνολογία. Επίσης το Εργαστηριακό Κέντρο Φυσικών επιστημών του Ρεθύμνου, το οποίο έχει επίσης μία δυναμική ιστοσελίδα, με πολλούς επισκέπτες, στην οποία αναφέρονται: ποια είναι η ερευνητική ομάδα, ποιοι οι σκοποί και στόχοι της και ποιοι είναι οι τομείς πάνω στους οποίους εργάζονται την τρέχων περίοδο.

Ένα σημαντικό βήμα για την ανάπτυξη και την αξιοποίηση των επιτευγμάτων της Νανοτεχνολογίας στην Ελλάδα, αποτελεί χωρίς αμφιβολία η ίδρυση της επιστημονικής εταιρείας Micro & Nano από τους εξής φορείς: Ινστιτούτο Μικροηλεκτρονικής, ΕΚΕΦΕ Δημόκριτος, Εργαστήριο Μικροηλεκτρονικής, ΙΤΕ Κρήτης Δίκτυο Πράξη του ΙΤΕ, Εργαστήριο Επιστήμης Επιφανειών, Τμήμα Χημικών Μηχανικών Πανεπιστημίου Πατρών, Εργαστήριο Ηλεκτρονικών Εφαρμογών, Τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Τεχνολογίας Υπολογιστών, Πρόγραμμα Μοριακών και Υπερμοριακών Νανολειτουργικών Υλικών του Ινστιτούτου Φυσικοχημείας του ΕΚΕΦΕ Δημόκριτος. Φιλοδοξία της Micro & Nano είναι να αποτελέσει ένα καταλύτη και πλαίσιο δυναμικής σύνθεσης των Ελληνικών δυνάμεων Έρευνας και Τεχνολογίας ώστε να ανταποκριθούν ενεργά στις διεθνείς απαιτήσεις και να συμβάλλουν αποφασιστικά στην τεχνολογική και οικονομική αξιοποίηση του Ελληνικού Επιστημονικού κεφαλαίου στο χώρο της Μικρο και Νανοτεχνολογίας.^[44]

Αυτό που κάνει ιδιαίτερη εντύπωση είναι μία ιδιωτική πρωτοβουλία για ανάπτυξη προϊόντων νανοτεχνολογίας. Η νεαρή εταιρία ονομάζεται Nanophos και ιδρυτές της είναι ο χημικός μηχανικός με ειδίκευση στη Νανοτεχνολογία και τη χημεία Ημιαγωγών Ι. Αραμπατζής και συνεργάτης και χρηματικός επενδυτής ο Β. Θεοχαράκης. Η εταιρία έχει ως σκοπό να φέρει τα μεγάλα πλεονεκτήματα της Νανοτεχνολογίας στην καθημερινότητά μας. Ειδίκευση της εταιρίας είναι η επικαλύψεις με νάνο-προϊόντα που κατασκευάζουν. Η εταιρία, τέλος, συνεργάζεται με το Πανεπιστήμιο Χάρβαρντ. Σύμφωνα με τον κ. Αραμπατζή «το Ινστιτούτο Φωτοδυναμικής της Ιατρικής Σχολής του Χάρβαρντ δουλεύει αυτή τη στιγμή με τα υλικά μας». [28]

2.5 Τομείς Εφαρμογών

Ο όρος Νανοϋλικά που χρησιμοποιούμε για τα προϊόντα της έρευνας στη νανοτεχνολογίας, περιλαμβάνει υποκατηγορίες στις οποίες αναπτύσσονται και μελετώνται υλικά με μοναδικές ιδιότητες που οφείλονται στις νανοδιαστάσεις τους.^[40] Έχουμε αναφέρει ότι ακόμη και γνωστά υλικά εμφανίζουν αλλοιωμένες ιδιότητες όταν μελετώνται στη νανοκλίμακα.

Αρκετά χρήσιμα υλικά για χρήση στην έρευνα της νανοτεχνολογίας έχουν δώσει η επιστήμη της επαφής των υλικών και των κολλοειδών. Υλικά όπως οι νανοσωλήνες άνθρακα και διάφορα άλλα νανοσωματίδια.^[19]

Η εμπορική εκμετάλλευση των προϊόντων της νανοτεχνολογίας έχει ως σκοπό την παραγωγή σε μεγάλη ποσότητα των ήδη γνωστών αυτών νανοπροϊόντων, πράγμα που είναι αρκετά δύσκολο. Μεγάλη άνθιση έχει παρουσιάσει η χρησιμοποίηση της Νανοτεχνολογίας και των προϊόντων της σε ιατρικές εφαρμογές, που παρουσιάζονται ως νανοϊατρική. (Για τη νανοϊατρική θα γίνει εκτενείς αναφορά στο κεφάλαιο των εφαρμογών της πράσινης νανοτεχνολογίας).

Όπως έχει ήδη αναφερθεί σε προηγούμενο κεφάλαιο, δύο είναι οι τρόποι προσέγγισης στην νανοτεχνολογία. Ο ένας είναι από το μικρο- στο μακρο-επίπεδο, και η άλλη είναι η αντίστροφη διαδικασία από το μακρο- στο μικρο-επίπεδο.

Στην πρώτη προσέγγιση συνδέοντας μικρότερα συστατικά προσπαθείται η δημιουργία πιο πολύπλοκων συγκεντρώσεων. Π.χ. στην νανοτεχνολογία του DNA χρησιμοποιώντας τη συμπληρωματικότητα των βάσεων, δημιουργούνται καλά καθορισμένες δομές, χωρίς τη χρήση άλλων τμημάτων DNA. Με κλασική χημική σύνθεση επιδιώκεται ο σχεδιασμός μορίων σταθερών μορφών (διπεπτίδιο^[41]). Γενικά η προσέγγιση αυτή επιδιώκει την ανάπτυξη χρήσιμων διατάξεων από αυτο-συγκέντρωση μονομοριακών συστατικών, χρησιμοποιώντας έννοιες της μοριακής ταυτοποίησης και της υπέρ-μοριακής χημείας.

Στην δεύτερη προσέγγιση επιδιώκεται η δημιουργία μικρότερων συσκευών προερχόμενες από μεγαλύτερες με σκοπό τον καλύτερο έλεγχο των συγκεντρώσεών τους. Π.χ. Εφαρμόζονται κλασικοί μέθοδοι επεξεργασίας πυριτίου της φυσικής στερεάς κατάστασης και τεχνολογία στερεών ατομικής απόθεσης (ALD), με σκοπό τη δημιουργία γιγάντιων μαγνητο-αντιστατών για χρήση τους σε σκληρούς δίσκους, που ήδη κυκλοφορούν στην αγορά.^[42] Οι Peter Grünberg και Albert Fert έλαβαν το 2007 το βραβείο Νόμπελ Φυσικής για την ανακάλυψή τους των γιγάντιων μαγνητο-αντιστατών και τη συνεισφορά τους στο πεδίο μελέτης της περιστροφής.^[43]

Παρόμοιες τεχνικές εφαρμόζονται και για την παραγωγή συσκευών γνωστές ως νανοηλεκτρομηχανικά συστήματα ή NEMS, οι οποίες σχετίζονται με τα μικροηλεκτρομηχανικά συστήματα MEMS.

Στην νανολιθογραφία, το μικροσκόπιο ατομικής ισχύος χρησιμοποιείται ως κεφαλή γραφής για να τοποθετηθεί ένα χημικό στην επιφάνεια ενός μοντέλου. Διαδικασία που ονομάζεται νανολιθογραφία εμβάθυνσης πένας.

Τέλος χρησιμοποιείται η ιδιότητα μιας εστιασμένης δέσμης ιόντων να μετακινεί ή να τοποθετεί υλικό, όταν αέρια προστεθούν την ίδια στιγμή. Η τεχνική χρησιμοποιείται για τη δημιουργία δομών ακόμη και μικρότερων από 100nm για ανάλυση στη μικροσκοπία ‘μετάδοσης ηλεκτρονίων’.^[19]

Έχουμε ακόμη κάποιες λειτουργικές προσεγγίσεις που αναζητούν συστατικά επιθυμητών λειτουργιών χωρίς εκτίμηση για το πώς συγκεντρώθηκαν. Π.χ. “Η μοριακή ηλεκτρονική αναζητά την ανάπτυξη μορίων με χρήσιμες ηλεκτρονικές ιδιότητες. Αυτά μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως μόνο-μοριακά συστατικά σε μία νανοηλεκτρονική συσκευή. Μέθοδοι χημικής σύνθεσης μπορούν επίσης να χρησιμοποιηθούν για να

δημιουργηθούν κινητήρες μοριακής σύνθεσης, όπως αυτό που θα ονομάζεται νανο-αυτοκίνητο».^[19]

Ένα καλό παράδειγμα δουλειάς της νανοτεχνολογίας είναι η προσπάθεια χρήσης της στην ιατρική. Οι ερευνητές σε πανεπιστήμια και ερευνητικά κέντρα, προσπαθούν χρησιμοποιώντας επιχρυσωμένες γυάλινες νανο-χάντρες (nanoshells) να καταστρέψουν τα καρκινικά κύτταρα του ασθενή. (εκτενής αναφορά στο κεφάλαιο των εφαρμογών της πράσινης νανοτεχνολογίας).

Οι δέκα κορυφαίοι τομείς εφαρμογής της Νανοτεχνολογίας και παραδείγματα των τομέων, ταυτόχρονα συγκρινόμενα με τους στόχους που έθεσε η UN Millennium Development Goal's (Αναπτυξιακοί στόχοι Ηνωμένων εθνών για τη Χιλιετηρίδα) παρουσιάζονται στον επόμενο πίνακα. Στην πρώτη στήλη παρουσιάζεται εκτός από την αρίθμηση και μία παρένθεση με έναν αριθμό ο οποίος μας δείχνει το βαθμό επίτευξης κάθε στόχου. Ο μέγιστος βαθμός που θα μπορούσε μία εφαρμογή να πάρει είναι 819. Έτσι η αρίθμησή τους γίνεται από το πιο επιτυχημένο προς τα λιγότερο.

Πίνακας 2.2: Οι 10 Καλύτεροι Τομείς Ανάπτυξης Νανοτεχνολογίας και αντιστοιχία με UN Millennium Development Goal's^[18]

A/a (βαθμός)	Εφαρμογή	Παράδειγμα	Στόχος UNMD
1 (766)	Νανοτεχνολογίας Αποθήκευση, Παραγωγή και Μετατροπή Ενέργειας	Ασυνήθιστα συστήματα αποθήκευσης υδρογόνου βασισμένα σε νανοσωλήνες άνθρακα και άλλα ελαφρά νανοϋλικά Φωτοβολταϊκά κύτταρα και συσκευές οργανικών εκπομπών φωτός βασισμένα στις κβαντικές τελείες Νανοσωλήνες άνθρακα σε σύνθετα επιστρωμένα φιλμ για ηλιακά κύτταρα Νανοκαταλύτες για δημιουργία υδρογόνου Υβριδικές πολυμερο-πρωτεϊνικές βιομιμητικές μεμβράνες	VII
2 (706)	Αύξηση αγροτικής παραγωγής	Νανοπορώδες Ζεόλιθος για αργή έκλυση και αποτελεσματικό καθορισμό δόσεων νερού και λιπασμάτων των φυτών, και θρεπτικών ουσιών και φαρμάκων για τα αγροτικά ζώα Νανοκάψουλες θεραπευτικών βοτάνων Νανοαισθητήρες για παρακολούθηση της ποιότητας του χώματος και της υγείας των φυτών Νανομαγνήτες για απομάκρυνση συστατικών που μολύνουν το χώμα	I, IV, V, VII
3 (682)	Επεξεργασία και αποκατάσταση νερού	Νανομεμβράνες για αφαίρεση ξένων ουσιών, αφαλάτωση και αφαίρεση τοξικών από το νερό Νανοαισθητήρες για ανίχνευση μολύνσεων και παθογενών στοιχείων Νανοπορώδες ζεόλιθος, νανοπορώδη πολυμερή για αφαίρεση ξένων ουσιών από το νερό Μαγνητικά νανοσωματίδια για επεξεργασία και αποκατάσταση νερού Νανοσωματίδια TiO ₂ για καταλυτική αποικοδόμηση μολυσμένου νερού	I, IV, V, VII
4 (606)	Διάγνωση και προφύλαξη από ασθένειες	Νανοστοιχειώδη συστήματα (εργαστήριο-σε-ένα-τσιπ)* Παράταξη νανοαισθητήρων με βάση τους νανοσωλήνες άνθρακα Κβαντικές τελείες για διάγνωση ασθενειών Μαγνητικά νανοσωματίδια ως νανοαισθητήρες Αντίσωμα-dendrimer για διάγνωση του HIV-1 και του καρκίνου	IV, V, VI

		Αισθητήρες νανοκαλωδίου και νανοζώνης για διάγνωση ασθενειών	
		Νανოსωματίδια ως ιατρικοί εικονικοί ανυψωτές	
5 (558)	Συστήματα παροχής φαρμάκων	Νανοκάψουλες, λιποσώματα, dendrimers, buckyballs, νανοβιομαγνήτες και attapulgitic πηλός για αργή και σταθερή απόδοση φαρμάκων	IV, V, VI
6 (472)	Παρασκευή και αποθήκευση τροφίμων	Νανοσυνθετικά για επικάλυψη πλαστικών που χρησιμοποιούνται στο πακετάρισμα Αντί-μικροβιακό γαλάκτωμα για χρήση στην απολύμανση των μαγειρικών σκευών, σκευών συσκευασίας αλλά και των ίδιων των φαγητών Αντιγόνο νανοτεχνολογίας σε βιοαισθητήρες για την αναγνώριση παθογόνων μολύνσεων	I, IV, V,
7 (410)	Μόλυνση του αέρα και αποκατάσταση	Νανοςωματίδια TiO ₂ φωτολυτικής αποικοδόμησης μολυσμένου αέρα σε αυτοκαθαριζόμενα συστήματα Νανοκαταλύτες για πιο αποτελεσματικούς, φθηνότερους και καλύτερα ελεγχόμενους καταλυτικούς μετατροπείς Νανοαισθητήρες για ανίχνευση τοξικών υλικών και διαρροών Νανοσυσκευές διαχωρισμού αερίων	IV, V, VII
8 (366)	Κατασκευές	Νανομοριακές δομές για δημιουργία ασφάλινων και τσιμεντένιων κατασκευών που διευκολύνουν τη ροή του νερού Νανοϋλικά ανθεκτικότερα στη θερμότητα, και θα αποκόπτουν την υπεριώδη και υπέρυθη ακτινοβολία Νανοϋλικά για φθηνότερα και ανθεκτικότερα στο χρόνο σπίτια, επιφάνειες, επιστρώσεις, κόλλες, μπετόν και θερμικές, φωτεινές μονώσεις Αυτοκαθαριζόμενες επιφάνειες (παράθυρα, καθρέφτες, τουαλέτες) με βιοενεργές επιστρώσεις	VII
9 (321)	Απεικόνιση υγείας	Νανοςωλήνες και νανοςωματίδια για γλυκόζη, CO ₂ και αισθητήρες χοληστερόλης για απεικόνιση της ευρισκόμενης ομοιόστασης	IV, V, VI
10 (258)	Ανίχνευση και έλεγχος φορέων και νόσων	Νανοαισθητήρες για ανίχνευση νόσων Νανοςωματίδια για νέα φυτοφάρμακα, εντομοκτόνα και αποθητικά εντόμων	IV, V, VI

*Το νανοστοιχειώδες σύστημα (εργαστήριο-σε-ένα-τσιπ) αναλύεται στο κεφάλαιο εφαρμογών πράσινης Νανοτεχνολογίας.

2.5.1 Ειδικές εφαρμογές

Οι υποσχέσεις που έχει δώσει η Νανοτεχνολογία είναι πολλές. Αν και ακόμη δεν υπάρχει μεγάλη ανάπτυξη των επιστημονικών εφαρμογών, παρατηρείται μία μεγάλη πίεση εκ μέρους του εμπορικού κόσμου για χρήση έστω αυτής της μικρής ανάπτυξης σε εμπορεύσιμες εφαρμογές. Αυτή λοιπόν η βιασύνη με προσανατολισμό την αγορά, δίνει

αρκετές ευκαιρίες για δουλειά σε ειδικευμένο προσωπικό στον τομέα της νανοτεχνολογίας.

Μερικά από τα πιο πρόσφατα εμπορικά προϊόντα νανοτεχνολογίας που διατέθηκαν στην αγορά παρουσιάζονται στον επόμενο πίνακα.

Πίνακας 2.3 : Πρόσφατα εμπορικά προϊόντα ^{118]}

- | | |
|---------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------|
| ➤ Νανοκερί Cerax για τα χιονοπέδιλα | ➤ φωτογραφική μηχανή OLED της Kodak (οργανικό συσκευή που επιτρέπει τη διόδο του φωτός) |
| ➤ Αδιάβροχο σακάκι για σκι Franz Ziener (Nano Tex) | ➤ L' Oreal κρέμα δέρματος βαθιάς διαπέρασης |
| ➤ Ανθεκτικός ιματισμός νάνο-φροντίδας ρυτίδων και λεκέδων | ➤ Απόδοση αντί-ανακλαστικού νάνο-film σε γυαλιά ηλίου |
| ➤ Αντηλιακές επιφάνειες Z-COTE | ➤ Ρακέτα τένις νανοδομής Babolat |
| ➤ Μπαλάκια τένις νανοτεχνολογίας InMat's | ➤ Κρέμες πληγών Nucryst για θύματα εγκαυμάτων, με επικάλυψη νανοασημιού |
| ➤ Aerogel Shockjock θερμαντικά ποδιού | ➤ Απολυμαντικό στρατιωτικής χρήσης EnviroSystems Eco True |
| ➤ Πλενόμενο στρώμα κρεβατιού Simmons (Nano Tex) | ➤ BASF's Mincor υπέρ-υδροφοβικό σπρέι για επίστρωμα οικοδομικών υλικών, για να τα κάνει αδιάβροχα |
| ➤ Λέσχες γκολφ Maruman & Co χρησιμοποιούν Fullerenes τιτανίου | ➤ Σπρέι παραθύρων Nanofilm Clarity Defender |
| ➤ Νανοδυναμικά μπαλάκια γκολφ | ➤ Flex κρέμα για κοινούς και μυϊκούς πόνους (χρησιμοποιεί λιποσώματα 90nm) |
| ➤ Εξατομικευμένη φροντίδα δέρματος Bionova | ➤ Οδοντική κόλλα 3M (nanohydroxyapatite) |

Σύμφωνα με τον κύριο Στέργιο Λογοθετίδη, πρόεδρο του τμήματος Φυσικής του Α.Π.Θ. και διευθυντή του Διατμηματικού-Διεπιστημονικού Προγράμματος Μεταπτυχιακών Σπουδών «Νανoeπιστήμες & Νανοτεχνολογία», “η επιστήμη δεν είναι καινούργια. Κουβαλάει τη συνέχεια της επιστημονικής έρευνας και εφαρμογής που ξεκίνησε πριν από 100 χρόνια, απλώς οι ρυθμοί είναι ταχύτεροι και οι εξελίξεις τόσο ραγδαίες που εκπλήσσουν ακόμη και τους ίδιους τους επιστήμονες” όπως δήλωσε σε συνέντευξή του. ^[22]

Τα προϊόντα νανοτεχνολογίας που διατίθενται παγκοσμίως ανέρχονται σε αξία στα 20-50 δις δολάρια (το 2004), με προοπτική να φθάσουν το 1 τρις δολάρια ως το

2010 και τα 2 τρις ως το 2015. Ενδέχεται δηλαδή το 2016 να αποτελούν το 15% της παγκόσμιας βιομηχανικής παραγωγής.^[26] Τα προϊόντα αυτά αποτελούν αντικείμενα διάφορων βιομηχανικών δραστηριοτήτων. Ακολουθούν ορισμένοι από αυτούς όπως έχουν δημοσιευτεί και στον τύπο.

Βιομηχανία καλλυντικών

Η βιομηχανία καλλυντικών μπήκε στα χωράφια της νανοτεχνολογίας όταν την περασμένη δεκαετία ανακαλύφθηκαν ορισμένες ευεργετικές επιδράσεις κάποιων νανοσωματιδίων στο ανθρώπινο δέρμα. “Η πιο γνωστή βιομηχανία του τομέα είναι η αμερικανική IGI Inc., η οποία κατασκευάζει μικροκάψουλες ενσωμάτωσης ενυδατικών και άλλων συστατικών. Αφότου παρουσίασε τις νανοκάψουλες Novasome - που δεν αλλοιώνονται στο ράφι και μπορούν να διεισδύσουν βαθιά στο δέρμα - το πελατολόγιό της διευρύνθηκε ραγδαία. Η Johnson & Johnson χρησιμοποιεί αυτές τις κάψουλες για τη σειρά προϊόντων της Neutrogena, η Estée Lauder για τα Renutriv, Resilience και άλλες σειρές καλλυντικών της, και η Chattem για να επικαλύψει με αυτό το υλικό τα καταπραϋντικά πόνου IcyHot που παράγει ώστε να παραμένουν ενεργά πολλές ώρες. Αντίστοιχη επανάσταση έφερε στην αγορά η ενσωμάτωση νανοτεχνολογίας στα χημικά της γνωστής βιομηχανίας BASF. Τα πιο διαδεδομένα νανοπροϊόντα της είναι οι μεμβράνες απορρόφησης υπεριώδων ακτίνων high-SPF και οι νανοκλωστές της που χρησιμοποιούνται σε βαφές, κόλλες και ενδύματα υψηλής αντοχής”.^[26]

Βιομηχανία της ένδυσης

Έχουν ήδη εμφανιστεί στην αγορά προϊόντα τα οποία με προσθήκη νανοϋλικών κατά την διάρκεια της ύφανσής τους εμφανίζουν μοναδικές ιδιότητες.

Χαρακτηριστικό είναι το παράδειγμα της εμφάνιση, το φθινόπωρο του 2002, της νέας σειράς παντελονιών Dockers της Levi Strauss & Co. που χρησιμοποίησε τον «απωθητή λεκέδων Teflon» της χημικής βιομηχανίας DuPont. Μυριάδες νανοτριχίδια που βρίσκονται στο παντελόνι απωθούν από πάνω τους το λεκέ.

Τα νανοτριχίδια ενσωματώνονται στο ύφασμα του ρούχου όταν τα κομμάτια του πατρών του εμβαπτιστούν σε ένα ειδικό χημικό διάλυμα. Όντας απείρως μικρά και έχοντας

σχήμα ελατηρίου, τα νανοτριχίδια γαντζώνονται μέσα στην ύφανση και συνδέονται εσαεί με τα νήματα, χωρίς να αλλάζουν το σχήμα τους.

Η επιτυχία αυτών των προϊόντων οδήγησε αλυσιδωτά στην υιοθέτησή τους από τη βιομηχανία υφασμάτων καθώς και στην περαιτέρω αξιοποίησή τους. Σήμερα υπάρχουν ενδύματα με νανοκλωστές που λειτουργούν ως αντλίες ιδρώτα, απορροφώντας την υγρασία του σώματος και εξωθώντας την στην επιφάνεια του ενδύματος ώστε να στεγνώσει γρηγορότερα.

Κάλτσες που δεν λερώνονται διώχνουν τις οσμές, τους μύκητες και τα βακτηρίδια έχουν ήδη κατασκευαστεί. Οι «Solefresh - Nano Silver» εμπεριέχουν νανοτριχίδια που εκτελούν αυτές ακριβώς τις διαδικασίες, ενώ εξωτερικά μοιάζουν με κανονικές κάλτσες. ^[26]



Εικ. 2.17 Κάλτσα από την νανοτεχνολογία

Νανοτεχνολογία και αθλητισμός

Μπαλάκια και ρακέτες του τένις με χρήση νανοτεχνολογίας, όπως αναφέρθηκε και στον πίνακα 2.3. “Το επίσημο μπαλάκι των αγώνων Davis Cup - το «Wilson Double Core» - χρησιμοποιούσε μία επίστρωση νάνο-υλικού που του επέτρεπε να αναπηδά διπλάσια από τα γνωστά μας παραδοσιακά μπαλάκια τένις. Το υλικό αυτό, το Air D-Fence, είχε αναπτυχθεί από την αμερικανική βιομηχανία InMat και ήταν στην ουσία ένα μείγμα ελαστικού πολυμερούς βουτυλίου με ανόργανα νανοσωματίδια. Το βουτύλιο είναι γνωστό από τη χρήση του ως στεγανωτή για λάστιχα ή μπάλες. Όταν όμως αναμειχθεί με τον «μοριακό νανοστόκο» εμφανίζει απρόσμενες ιδιότητες! Μέσα στο μπαλάκι του τένις ο νανοστόκος λειτουργεί σαν λαβύρινθος που παγιδεύει τα μόρια του αέρα και δεν τα αφήνει να διαφύγουν από τους πόρους του ελαστικού περιβλήματος. Και, όπως λέει και ο έλληνας ειδικός του τομέα στο Πανεπιστήμιο Cornell των ΗΠΑ Μανόλης Γιαννέλης, «αυτά τα φύλλα στόκου μοιάζουν με τράπουλα. Αν την απλώσεις,

κάρτα προς κάρτα, μπορείς να καλύψεις πολύ μεγάλη επιφάνεια...». Η τράπουλα του νανοστόκου κλείνει τα κενά μεταξύ των μορίων-σφαιριδίων του βουτυλίου, αλλά διατηρεί τη φολιδωτή δομή των «καρτών» της. Το σημαντικό είναι ότι, ενώ ο νανοστόκος αποτρέπει τη διαφυγή του αέρα, συντηρεί παράλληλα την ευκαμψία του ελαστικού βουτυλίου». [26]

Νανοτεχνολογία και κατασκευές

Από τα νανοπροϊόντα που έχουν ήδη κατασκευαστεί, υπάρχουν ορισμένα τα οποία χρησιμοποιούνται στις κατασκευές ως ένθετα ή επιστρώσεις δομικών υλικών που θα χρησιμοποιηθούν για την ανέγερση κτιρίων. Μία τέτοια εφαρμογή έχει γίνει την εκκλησία Jubilee του Ρίτσαρντ Μάιερ στη Ρώμη. Κατά την κατασκευή του κτιρίου το 1998 ενσωματώθηκε στο τσιμέντο το νανοσωματίδιο TiO_2 προσδίδοντάς του την ιδιότητα να αυτοκαθαρίζεται. Το νανοσωματίδιο αυτό χρησιμοποιείται και από εταιρίες κατασκευής υαλοπινάκων (για να τα καταστήσουν αυτοκαθαριζόμενα) αλλά και στην παραγωγή και άλλων υλικών που χρησιμοποιούνται ως πρώτες ύλες στον κατασκευαστικό τομέα. Το 2002 εγκαινιάστηκε κι άλλο ένα κτίριο με ανάλογες ιδιότητες, η Cite des Arte, στο Σαμπερί της Γαλλίας. Αυτό είναι το πρώτο κτίριο που διασπά την ατμοσφαιρική ρύπανση. [26]

Ανάλογα προϊόντα παράγει και η ελληνική εταιρία Nanophos. Συγκεκριμένα έχει δημιουργήσει το Surfashield, που είναι ένα υλικό επικάλυψης με αντί-μικροβιακή δράση, με την ιδιότητα να απορροφά από το περιβάλλον φως και να ενεργοποιείται καταστρέφοντας μικρόβια και μικροοργανισμούς. Το προϊόν έχει ως βάση τα TiO_2 . Άλλα προϊόντα της εταιρίας έχουν υδατοαποθητικές ιδιότητες εξουδετερώνοντας έτσι μύκητες και μούχλα, και θερμομονωτικές ιδιότητες. [28]

Νανοηλεκτρονική

Άμεσα εμφανείς θα είναι και οι επιδράσεις της νανοτεχνολογίας στην τεχνολογία των υπολογιστών, και την νανοηλεκτρονική γενικότερα. Έτσι λοιπόν σημαντικές θα είναι οι αλλαγές που θα παρουσιαστούν:

Με την αντικατάσταση των τρανζίστορ πυριτίου από νέα βασισμένα στους νανοσωλήνες άνθρακα, περιέχοντας ένα μόνο ηλεκτρόνιο,

Θα εμφανιστεί η μαγνητική μνήμη MRAM (Magnetic Random Access Memory) που θα αποθηκεύει και θα διατηρεί μαγνητικά τα δεδομένα,

Η ηλεκτρονική θα αντικατασταθεί κατά ένα μεγάλο μέρος από μία νέα τεχνολογία, τα spintronics και

Οι νέοι υπολογιστές θα είναι κβαντικοί και μοριακοί, όπου θα επεξεργάζονται τα δεδομένα σε επίπεδο κβάντων και μορίων αντίστοιχα. [24]

2.6 Ανησυχίες που εγείρει

Οι υποσχέσεις της νανοτεχνολογίας πολλές. Οι εφαρμογές της τώρα και πολύ περισσότερο στο μέλλον αμέτρητες. Όμως η ανάπτυξη αυτή δεν μπορούμε να κρύψουμε ότι έχει δημιουργήσει και πολλές ανησυχίες. Οι ανησυχίες αυτές εκτείνονται σε διάφορους τομείς, όπως στον τομέα της υγείας, στον ηθικό τομέα, στον νομικό, στον πολιτικό και άλλους. Η ανάπτυξη τέτοιων κριτικών στάσεων δεν υπάρχει μόνο απέναντι στην νανοτεχνολογία αλλά και απέναντι σε πολλούς νέους και ταχύτατα αναπτυσσόμενους κλάδους της επιστήμης, που μεταφέρονται αρκετά γρήγορα προς την βιομηχανία για την εμπορευματοποίησή τους. Οι σκέψεις αυτές δεν είναι τυχαίες. Έχουν ζυμωθεί μέσα από γεγονότα που, αφορούν την επιστήμη και, έφεραν κάποιες δυσάρεστες συνέπειες στις ζωές των πολιτών. Τέτοια γεγονότα είναι η εκπομπή ραδιενέργειας από το εργοστάσιο του Τσερνομπίλ, την Βοπάλ, την εμφάνιση των γενετικά τροποποιημένων και μεταλλαγμένων τροφίμων, την BSE στο Ηνωμένο Βασίλειο, και μερικά ακόμη. [18]

Στη σημερινή εποχή, η επιστημονική έρευνα δε γίνεται ξεκομμένη και ανεξάρτητη από ερευνητές αποκλεισμένους στα εργαστήρια τους. Η έρευνα έχει παγκοσμιοποιηθεί. Οι ερευνητές βρίσκονται σε συνεχή επικοινωνία, είτε μέσω του διαδικτύου, βίντεο-κλήσεων και διασκέψεων, είτε ταξιδεύοντας και βρίσκοντας ο ένας τον άλλο στον χώρο εργασίας του. Έτσι υπάρχει ένας διάλογος σε διαρκώς ανοιχτός.

Μέσα στις διάφορες συζητήσεις που γίνονται για τη νανοτεχνολογία, υπάρχουν φωνές που μιλούν για μία μεγάλη ευκαιρία που δίνεται στον κόσμο μας, να χρησιμοποιήσει τη νέα τεχνολογία όχι μόνο για εμπορικούς σκοπούς, αλλά μέσω μιας συμφωνίας κυρίων να γίνει μία παγκόσμια προσπάθεια ώστε να χρησιμοποιηθεί για αυτούς που την έχουν μεγαλύτερη ανάγκη. Μία προσπάθεια δηλαδή για κάλυψη ανώτερων αναγκών, σε επίπεδο υγιεινής, κατεργασίας νερού, δημιουργίας και αποθήκευσης ενέργειας φτωχότερων χωρών. ^[18]

Τα θέματα που θα αναφέρουμε έθεσαν με άρθρο τους και τα μέλη του Joint Centre for Bioethics (JCB) του Πανεπιστημίου του Τορόντο, σε άρθρο τους στη Βρετανική επιθεώρηση «Νανοτεχνολογία» με τίτλο «Ασχοληθείτε με το χάσμα: Επιστήμη και ηθική στη νανοτεχνολογία». ^[27]

Η πρώτη μεγάλη ομάδα ανησυχιών είναι αυτές που αφορούν τον τομέα της υγείας. Είναι ένα θέμα ασφάλειας καθώς δεν γνωρίζουμε ακόμη -και δεν έχουν γίνει εκτεταμένες μελέτες για αυτό- την επίδραση των νανοσωματιδίων όταν η συγκέντρωσή τους αυξάνεται στους οργανισμούς. Οι προβληματισμοί χωρίζονται σε δύο κατηγορίες. Αυτές που αφορούν τις βιολογικές και χημικές επιδράσεις των νανοσωματιδίων στο ανθρώπινο σώμα και τα φυσικά οικοσυστήματα, και αυτές που αφορούν θέματα διαρροής, διανομής και συγκέντρωσης νανοσωματιδίων που θα μπορούσαν να θέσουν σε κίνδυνο σώματα και οικοσυστήματα. ^[18]

Το εθνικό ινστιτούτο για την επαγγελματική ασφάλεια και υγεία (NIOSH) πραγματοποιεί έρευνα πάνω στο πως τα νανοσωματίδια αλληλεπιδρούν με τα συστήματα του σώματος και πως οι εργάτες μπορεί να εκτεθούν σε νανομεγέθη σωματίδια κατά την επεξεργασία ή βιομηχανική χρήση των νανοϋλικών. Το NIOSH έχει ορίσει κατευθυντήριες γραμμές που πρέπει να ακολουθούνται κατά την επεξεργασία νανοϋλικών. ^[19]

Ομάδες όπως το Center for Responsible Nanotechnology συνηγορεί ότι λύση αποτελεί ο έλεγχος πρέπει να πραγματοποιείται από το κράτος που θεωρείται αντικειμενικός κριτής. Άλλοι όμως υποστηρίζουν ότι ο υπέρ-έλεγχος θα «στραγγάλισει» την έρευνα και την ανάπτυξη καινοτομιών που θα μπορούσε να ωφελήσει την ανθρωπότητα. ^[19]

Το θέμα είναι αρκετά σοβαρό και προβληματίζει πολίτες και αρμοδίους κυβερνήσεων ενημερωμένων επί των θεμάτων της νανοτεχνολογίας. Από την

Ευρωπαϊκή Αντιπροσωπεία Υγείας και Γενική Διεύθυνση Προστασίας καταναλωτών έχει εκδοθεί ένας κατάλογος συστάσεων προς παν ενδιαφερόμενο και σχετιζόμενο με τη νανοτεχνολογία και τη διαδικασία χρησιμοποίησής της. Ο κατάλογος^[18] αυτός αναφέρει τα εξής:

- Ανάπτυξη νέας ονοματολογίας για τα νανοϋλικά
- Εκχώρηση νέων χημικών περιλήψεων στην υπηρεσία καταχώρησης αριθμών (CASRN) για τα νέα νανοσωματίδια
- Προώθηση της επιστήμης συλλέγοντας δεδομένα και πραγματοποιώντας αναλύσεις στα νέα νανοσωματίδια
- Ανάπτυξη νέων οργάνων μέτρησης
- Ανάπτυξη μεθόδων με σταθερή εκτίμηση κινδύνου
- Δημιουργία θεσμού απεικόνισης της εξέλιξης της νανοτεχνολογίας
- Έναρξη διαλόγου με το κοινό και τη βιομηχανία
- Καθιέρωση κατευθυντηρίων γραμμών και στάνταρτς για την παραγωγή, διαχείριση, εμπορευματοποίηση και εκτίμηση του κινδύνου των νανοϋλικών
- Επανεξέταση υπαρχόντων ρυθμιστικών διατάξεων και αλλαγή τους εάν παρουσιαστούν ακατάλληλα να εκφράσουν τις ιδιαιτερότητες της νανοτεχνολογίας
- Μεγιστοποίηση της συγκράτησης των υπαρχόντων ελεύθερων νανοσωματιδίων
- Προσπάθεια για εξαφάνιση ή ελαχιστοποίηση των απελευθερωμένων νανοσωματιδίων στην ατμόσφαιρα όπου είναι δυνατόν

Μελέτη του Πανεπιστημίου του Rochester απέδειξε ότι τα ποντίκια που εισέπνεαν νανοσωματίδια, τα οποία επικάθονταν στο μυαλό και τους πνεύμονες, εμφάνισαν τρομακτική αύξηση δειγμάτων φλεγμονών και στρες.^[45]

Μία μελέτη δημοσιευμένη στο Nature nanotechnology αναφέρει ότι κάποια μοντέλα νανοσωλήνων άνθρακα μπορεί να γίνει το ίδιο βλαβερή όσο και ο αμίαντος, εάν εισπνευθεί σε κάποια ποσότητα.^[46]

Η δεύτερη μεγάλη ομάδα ανησυχιών αφορά νομικά προβλήματα που μπορεί να προκύψουν. Όπως το θέμα της πνευματικής ιδιοκτησίας, της μυστικότητας και γνησιότητας των επιστημονικών αποτελεσμάτων, το διαχωρισμό της γνώσης και τις νομικές επιπτώσεις σε περιπτώσεις παρασπονδιών.

Η τρίτη μεγάλη ομάδα ανησυχιών αφορά τα ηθικά διλήμματα και τις πολιτικές στρατηγικές που ακολουθούνται από τους εμπλεκόμενους στον τομέα της νανοτεχνολογίας, είτε ως ερευνητές της, είτε ως παραγωγείς της είτε ως εκμεταλλευτές της. Μπορούμε να τις κατατάξουμε σε τρεις κατηγορίες.

- i. Ένα θέμα αποτελεί η ορθότητα των επιστημονικών αποτελεσμάτων, η εμπιστοσύνη του κοινού προς αυτά, και η χρήση και εκμετάλλευσή τους από κυβερνήσεις, εταιρίες και μη κερδοσκοπικούς οργανισμούς. Λύση σε αυτό το θέμα ίσως είναι η ενθάρρυνση για συνεργασία και ανοιχτή πρόσβαση στα αποτελέσματα που προήλθαν από κρατικά χρηματοδοτούμενες έρευνες.
- ii. Ύστερα από γεγονότα που επηρέασαν άμεσα τη ζωή των πολιτών (μεταλλαγμένα τρόφιμα, Τσερνομπίλ κ.α.), έχει δημιουργηθεί μία πίεση προς την επιστημονική κοινότητα για μεγαλύτερο έλεγχο των αποτελεσμάτων της, εκ μέρους των ίδιων των πολιτών.
- iii. Ένα ακόμη θέμα είναι η πιθανότητα χρήσης της νανοτεχνολογίας από τρομοκράτες με σκοπό τη δημιουργία νέων φονικότερων όπλων μαζικής καταστροφής. Μία πιο πιθανότερη όμως περίπτωση είναι η χρήση της απειλής της τρομοκρατίας εκ μέρους κυβερνήσεων με σκοπό την δικαιολόγηση των κρυφών πειραμάτων στον τομέα της νανοτεχνολογίας. Στις δύο τελευταίες κατηγορίες η λύση μπορεί να δοθεί «με την τοποθέτηση Διεθνών Οργανισμών (όπως η UNESCO) σε ρόλο βοηθού στον καθορισμό κανόνων επιστημονικής επαφής-κανόνες που ισορροπούν μεταξύ της ιδεολογίας, της έλλειψης προκαταλήψεων στην επιστήμη, με την πολιτική πίεση να συγκρατούνται οι πιθανά επικίνδυνες πληροφορίες από τη διάδοσή τους». ^[18]

ΠΡΑΣΙΝΗ ΝΑΝΟΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ
(GREEN NANOTECHNOLOGY)

3. ΠΡΑΣΙΝΗ ΝΑΝΟΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ

3.1. Τι είναι Πράσινη Νανοτεχνολογία

Συνδυάζοντας την Πράσινη Χημεία, την Πράσινη Μηχανική και την Νανοτεχνολογία δημιουργείται μια νέα επιστήμη που ονομάζεται Πράσινη Νανοτεχνολογία ή αλλιώς Green Nano [1]. Πολλοί ερευνητές βλέπουν να διαγράφεται ένα λαμπρό μέλλον σε αυτό το καινούργιο επιστημονικό πεδίο που καλείται Green Nano, υποστηρίζει ο James E. Hutchison, Χημικός στο Πανεπιστήμιο του Όρεγκον στην Eugene.

Η Πράσινη Χημεία και η Πράσινη Μηχανική εφαρμόζουν τις αρχές τους σε κάθε παραγωγική διαδικασία και εκμεταλλεύονται τις ιδιότητες που αποκτά η ύλη στην κλίμακα του nano ($1\text{nm} = 10^{-9}\text{m}$).

Είναι γεγονός πως η ύλη αποκτά διαφορετικές και ενδιαφέρουσες ιδιότητες σε αυτήν την μικροσκοπική κλίμακα απ' ότι έχει στο σύνηθες μέγεθος. Για παράδειγμα, τα ακατέργαστα μέταλλα είναι χημικά αδρανή ενώ τα νανομόριά τους όχι. Ιδιότητες όπως το χρώμα, η ηλεκτρική αγωγιμότητα και η μαγνήτιση αλλάζουν με την αλλαγή του μεγέθους και του σχήματος των υλικών.

3.2. Σκοποί της Πράσινης Νανοτεχνολογίας

Σύμφωνα με την Barbara Korn [12]. Χημικό και κάτοχο διδακτορικού στη Βιολογία και τις Περιβαλλοντικές Επιστήμες, η Πράσινη Νανοτεχνολογία έχει δύο σκοπούς:

- να παράγει νανουλικά και νανοπροϊόντα χωρίς να βλάπτει το περιβάλλον και τον άνθρωπο (people and planet friendly nanoproducts).
- να παράγει νανοπροϊόντα τα οποία να παρέχουν λύσεις σε κάθε πρόκληση που σχετίζεται με το περιβάλλον.

3.3. Σκελετός της Πράσινης Νανοτεχνολογίας

Ο σκελετός της Πράσινης Νανοτεχνολογίας στηρίζεται: 1) στην παραγωγική διαδικασία που πρέπει να είναι αβλαβής για τον άνθρωπο και το περιβάλλον και στα 2) προϊόντα που πρέπει επίσης να εξυπηρετούν τον ίδιο σκοπό.

Η Πράσινη Νανοτεχνολογία προσφέρει τη δυνατότητα ώστε να γίνουν τα προϊόντα και οι παραγωγικές διαδικασίες πράσινες από την αρχή, δίνει σε κάθε άτομο ξεχωριστά αξία και εκμεταλλεύεται τις ιδιότητες της νανούλης.

Δεν είναι τυχαίο πως η μητέρα φύση έχει εγκαταστήσει ένα ολόκληρο πράσινο-νανοεργοστάσιο στο κύτταρο, τη δομική λίθο της ζωής!!! Ο τύπος αυτός ελέγχου σε μικροσκοπικό επίπεδο ασκείται από τη φύση εδώ και αιώνες. Για παράδειγμα ας πάρουμε το κέλυφος abalone,⁷ αυτός ο ζωντανός οργανισμός ελέγχει την οργάνωση των ανόργανων συστατικών σε μοριακό επίπεδο και ακόμη σε κλίμακα ατόμου χρησιμοποιώντας ηλεκτροστατικές αλληλεπιδράσεις, σύνδεση με υδρογόνο, σύνδεση με δισουλφίδιο, και άλλες αλληλεπιδράσεις οι οποίες μπορεί να παρατηρούνται μεταξύ των υπερμοριακών οργανικών συστημάτων και των ανόργανων συστατικών. Πολλοί επιστήμονες θα ήθελαν να αναπαράγουν τον τύπο αυτόν ελέγχου σωματιδίων στο εργαστήριο παρασκευάζοντας νανοϋλικά και συσκευές που διαθέτουν ακρίβεια σε επίπεδο ατόμου σε κάθε τομέα όπως είναι στα φορτία, την χημεία της επιφανείας, το σχήμα, το μέγεθος και τη μήτρα.[68]

Κυρίως στόχος των ερευνητών είναι να αξιοποιήσουν στο έπακρο τις δυνατότητες της Πράσινης Νανοτεχνολογίας στις βιομηχανίες.

3.4. Υποσχέσεις Πράσινης Νανοτεχνολογίας

Το νέο αυτό επιστημονικό πεδίο, υπόσχεται:

- αντιδράσεις λίγων σταδίων
- μείωση διαφόρων διεργασιών (π.χ. διαχωρισμών)
- μείωση κόστους παραγωγής
- μείωση αποβλήτων-τοξικών παραπροϊόντων
- μεγαλύτερος βαθμός ελέγχου των αντιδράσεων (just in time work)

- διεξαγωγή αντιδράσεων σε θερμοκρασία περιβάλλοντος
- χρήση μικροκυμάτων
- χρήση μη τοξικών διαλυτών
- επανάκτηση διαλυτών
- χρήση καταλυτών
- επανάκτηση-καταλυτών
- συνδυασμός νανοτεχνολογίας με μικροτεχνολογία-αυτοματοποίηση μικροσυσκευών-πιο φιλικές για τον άνθρωπο [17,47,48,49,50,51].

Στις επόμενες σελίδες ακολουθεί μια γενική εισαγωγή για την νανοτεχνολογία του σήμερα, και γίνεται σύνδεση της νανοτεχνολογίας με την Πράσινη Χημεία (Μηχανική), ώστε να μελετηθεί εκτενώς το νέο αυτό επιστημονικό πεδίο που καλείται Πράσινη Νανοτεχνολογία, η “Green Nano” όπως προαναφέρθηκε.

3.5 Εργαστηριακή έρευνα στην Πράσινη Νανοτεχνολογία

3.5.1. Εισαγωγή

Σταδιακά εισέρχονται στην αγορά διάφορων ειδών νανοπροϊόντα – οτιδήποτε μπορεί να φανταστεί ο κοινός νους, από αντιλιακά μέχρι ρακέτες του τένις και από καθαριστές φακών μέχρι είδη ιματισμού. Κάποια από αυτά τα προϊόντα περιέχουν νανοϋλικά, όπως νανοσωλήνες άνθρακα, νανοσωματίδια από άργυρο και νανοσωματίδια από οξείδιο του ψευδαργύρου. Άλλα φτιάχνονται μέσα από μια ειδική επεξεργασία όπου χρησιμοποιείται η νανοτεχνολογία – για παράδειγμα, η διαδικασία κατά την οποία κατασκευάζονται τριχοειδείς ίνες νανομεγέθους μέσα σε ίνες από βαμβάκι, καθιστώντας το ύφασμα ανθεκτικό στους λεκέδες.

Ενδεικτικά αναφέρουμε την εταιρία Levis Strauss & Co που χρησιμοποίησε το φθινόπωρο του 2002 στη νέα της σειρά παντελονιών Rockers τον «αποθητή λεκέδων Teflon» της χημικής βιομηχανίας Du Pont. Μυριάδες νανοτριχίδια συστρέφονται όταν πέσει επάνω τους βρωμιά και την απωθούν ώσπου να εξαφανιστεί. Αναλυτικότερα τα νανοτριχίδια ενσωματώνονται στο ύφασμα του ρούχου όταν κομμάτια του πατρών του εμβαπτισθούν σε ένα ειδικό χημικό διάλυμα. Όντας απείρως μικρά και έχοντας σχήμα ελατηρίου τα νανοτριχίδια γαντζώνονται μέσα στην ύφανση και συνδέονται εσαεί με τα νήματα, χωρίς να αλλάζουν το σχήμα τους.

Η επιτυχία αυτών των προϊόντων οδήγησε αλυσιδωτά στην υιοθέτησή τους από τη βιομηχανία υφασμάτων καθώς και στην περαιτέρω αξιοποίησή τους. Αξίζει να σημειωθεί ότι σήμερα υπάρχουν ενδύματα με νανοκλωστές που λειτουργούν ως αντλίες ιδρώτα, απορροφώντας την υγρασία του σώματος και εξωθώντας την στην επιφάνεια του ενδύματος ώστε να στεγνώσει γρηγορότερα. Άλλα χρησιμοποιούν τη νανοτεχνολογία χαμαιλεοντικά, προκειμένου να κάνουν τα συνθετικά υφάσματα να αποκτούν υφή βαμβακερών [14].

Τίποτα από όλα όσα αναφέρθηκαν πιο πάνω δεν θα πρέπει να μας κάνει εντύπωση αν λάβουμε υπόψη μας ότι από καθαρά τεχνολογική σκοπιά τα νανοπροϊόντα πρωτοεμφανίστηκαν τη δεκαετία του '70, όταν χρησιμοποιήθηκαν καταλύτες στα αυτοκίνητα. Τα σωματίδια ροδίου και πλατίνας που χρησιμοποιούσαν για να δεσμεύουν τα επιβαρυντικά για το περιβάλλον απόβλητα του κινητήρα μας ήταν τα πρώτα προϊόντα

νανοτεχνολογίας. Την προηγούμενη όμως δεκαετία συνέβη ένα πραγματικό άλμα διάδοσης των νανοπροϊόντων, όταν η βιομηχανία καλλυντικών ανακάλυψε τις θαυματουργές για το ανθρώπινο δέρμα δυνατότητές τους. Η πιο γνωστή βιομηχανία του τομέα είναι η αμερικανική IGI Inc., η οποία κατασκευάζει μικροκάψουλες ενσωμάτωσης ενυδατικών και άλλων συστατικών. Αφότου παρουσίασε τις νανοκάψουλες Novasome- που δεν αλλοιώνονται στο ράφι και μπορούν να διεισδύσουν βαθιά στο δέρμα-το πελατολόγιό της διευρύνθηκε ραγδαία. Η Johnson & Johnson χρησιμοποιεί αυτές τις κάψουλες για τη σειρά προϊόντων της Neutrogena, η Estee Lauder για τα Renutric, Resilience και άλλες σειρές καλλυντικών της, και η Chattem για να επικαλύψει με αυτό το υλικό τα καταπραϊντικά πόνου IcyHot που παράγει ώστε να παραμένουν ενεργά πολλές ώρες [15]. Αντίστοιχη επανάσταση έφερε στην αγορά η ενσωμάτωση νανοτεχνολογίας στα χημικά της γνωστής βιομηχανίας BASF. Τα πιο διαδεδομένα νανοπροϊόντα της είναι οι μεμβράνες απορρόφησης υπεριωδών ακτίνων high-SPF και οι νανοκλωστές της που χρησιμοποιούνται σε βαφές, κόλλες και ενδύματα υψηλής αντοχής [16].

Το Wilson Centre διεξήγαγε έρευνα στο διαδίκτυο όπου αναζητούσε προϊόντα που οι κατασκευαστές τα χαρακτήρισαν ως «νανο» και βρήκαν περισσότερα από 380 αντικείμενα που είναι επί του παρόντος διαθέσιμα στους καταναλωτές. Το Κέντρο δημοσίευσε αυτά τα αποτελέσματα σε ένα Κέντρο Απογραφής Νανοτεχνολογικών Καταναλωτικών Προϊόντων (Nanotechnology Consumer Products Inventory), το οποίο μπορεί να επισκεφθεί κανείς στην ιστοσελίδα <http://nanotechproject.org/44>. Ακόμη περισσότερα νανοπροϊόντα χρησιμοποιούνται αυτήν τη στιγμή στη βιομηχανία, σε ερευνητικά εργαστήρια και σε βιοχημικές εφαρμογές. Η Lux Research εκτιμά ότι μέχρι το 2014, η νανοτεχνολογία θα ενσωματωθεί σε βιομηχανικά προϊόντα αξίας 2,6 τρισεκατομμυρίων δολαρίων και θα δημιουργήσει 10 εκατομμύρια νέες θέσεις εργασίας.

Ο αριθμός των νανοπροϊόντων θα συνεχίσει να αυξάνεται, αλλά υπάρχουν ζητήματα όπως οι πιθανές επιπτώσεις της νανοτεχνολογίας στο περιβάλλον, η ανθρώπινη υγεία και η ασφάλεια τα οποία δεν έχουν εξεταστεί ακόμα πλήρως και σε βάθος. Επίσης, δε γνωρίζουμε πολλά σχετικά με τους κινδύνους της νανοτεχνολογίας, συμπεριλαμβανομένης της τοξικότητας, τις πιθανότητες εκπομπής ακτινοβολίας και της έκθεσης του ανθρώπου, τον τρόπο επίδρασης στο περιβάλλον και τις πιθανές

οικολογικές επιπτώσεις. Επειδή ακριβώς πρόκειται για ένα καινούργιο επιστημονικό πεδίο, για ένα καινούργιο εργαλείο στα χέρια των ερευνητών.

Ένας τρόπος για να παρακαμφτούν αυτοί οι κίνδυνοι είναι ο εξαρχής σχεδιασμός νανοπροϊόντων όσο το δυνατόν περισσότερο καθαρών και πράσινων. Δεδομένου ότι η νανοτεχνολογία βρίσκεται ακόμη στα πρώιμα στάδιά της και η υποδομή της βρίσκεται ακόμη υπό κατασκευή, δεν είναι λίγοι εκείνοι οι συμμετέχοντες που υποστηρίζουν πως οι δυνατότητες να δημιουργηθούν μέτρα πρόληψης της μόλυνσης είναι πολλές. Ο πράσινος σχεδιασμός των προϊόντων και η ακολουθία πράσινων μεθόδων κατά τη σύνθεση και την κατασκευή θα μπορούσαν να ενσωματωθούν στα νέα βιομηχανικά προϊόντα που βρίσκονται στη διαδικασία παρασκευής. Πράγματι, πολλοί επιστήμονες που συμμετείχαν στο American Chemical Society Nano Symposium ανέφεραν πολλά παραδείγματα για το πώς μπορούν να χρησιμοποιηθούν η πράσινη χημεία και οι μηχανικές αρχές για να ελαχιστοποιηθούν οι επιπτώσεις στο περιβάλλον όπως και οι κίνδυνοι από ένα μεγάλο εύρος νανοπροϊόντων.

Επιπλέον, οι συμμετέχοντες δήλωσαν ότι ήταν εύκολο να σχεδιαστούν πράσινες στρατηγικές στη νανοτεχνολογία, καθώς υπάρχουν κάποια εγγενή πλεονεκτήματα. Εφόσον υπάρχουν περισσότεροι τρόποι διαχείρισης και προσαρμογής της ύλης, δεν είναι απίθανο να κατασκευάζονται υλικά και προϊόντα με μειωμένη τοξικότητα, αυξημένη αντοχή και βελτιωμένη απόδοση ενέργειας. Όσον αφορά στην επεξεργασία, λαμβάνοντας υπόψη τη δύναμη της νανοτεχνολογίας, είναι πιθανό για τους επιστήμονες να συνθέτουν υλικά και συσκευές «από κάτω προς τα πάνω» και όχι από «πάνω προς τα κάτω», όπως γίνεται τώρα. Αυτός ο τύπος μοριακής παρασκευής δε θα διαφέρει σημαντικά από τις διαδικασίες που ακολουθούνται στις κυψέλες και, θεωρητικά, θα επιβεβαιώσει ότι ενσωματώνονται περισσότερα ακατέργαστα υλικά στο τελικό προϊόν, αντί να χάνονται ως απόβλητα. Παρομοίως, η δυνατότητα να κατασκευάζονται και να ελέγχονται με βάση μία νανοκλίμακα υπόσχεται ότι τα ακατέργαστα υλικά θα μπορέσουν να χρησιμοποιηθούν στο έπακρο. Ωστόσο, αυτού του είδους η παρασκευή είναι πιθανό να παρουσιάσει πιο αργούς ρυθμούς παραγωγής, ενώ υπάρχει πιθανότητα να είναι απαραίτητη η κατασκευή ενός νέου μοντέλου με μεγαλύτερο εύρος παρασκευής.

Παρόλα τα πλεονεκτήματα, η νανοτεχνολογία έχει επιπτώσεις στο περιβάλλον, καθώς η κατασκευή νανοπροϊόντων δεν παύει να απαιτεί νερό, ενέργεια, χημικά και

ακατέργαστα υλικά, όπως επισημάνθηκε στο συνέδριο. Πράγματι, αυτό που μετράει είναι το τελικό προϊόν και όχι μόνο το μέρος που είναι νάνο. Για παράδειγμα, οι ηλεκτρονικές μικροσυσκευές, όπως τα MP3, έχουν ένα νανοσυστατικό που αποτελεί ένα μικροσκοπικό τμήμα της συσκευής, ενώ όταν συνενώνονται οι νανοίνες συνήθως φτιάχνουν ένα μικρό μέρος του συνολικού υλικού. Αυτό συμβαίνει σήμερα. Ωστόσο, στο μέλλον, τα νανοϋλικά που θα εμπεριέχονται στα προϊόντα θα καταλαμβάνουν, κατά πάσα πιθανότητα, μεγαλύτερο μέρος επί του συνόλου και, επομένως, θα απαιτούν μεγαλύτερη προσοχή εφόσον θα αποτελούν ακατέργαστο υλικό.

Ο Satish Joshi, μηχανολόγος στο Κρατικό Πανεπιστήμιο του Michigan στο Ανατολικό Lansing, προτείνει να διεξαχθεί μία εμπεριστατωμένη μελέτη του κύκλου ζωής όλων των καινούργιων νανοπροϊόντων (Life Cycle Assessment, LCA). Ο Joshi ανέλυσε την επίδραση που έχει ένα υλικό στο περιβάλλον που αποτελεί ελκυστική εναλλακτική επιλογή αντί των πλαστικών που χρησιμοποιούνται σε μηχανοκίνητα οχήματα: πρόκειται για ένα πολυμερές από πυρίτιο, το οποίο έχει συντεθεί με τις αρχές της νανοτεχνολογίας. Βρήκε ότι η χρήση του θα μείωνε τις συνολικές εκπομπές αερίων θερμοκηπίου του αυτοκινήτου, αλλά θα απαιτούσε μεγαλύτερη ποσότητα νερού κατά την κατασκευή. Ο Joshi αλλάζει το συστατικό υλικό, συγκρίνοντας τα χαρακτηριστικά του και μετρώντας την βιοαποσύνθεσή του, η οποία αποτελεί ένα ακόμη πιθανό πλεονέκτημα. Ο ίδιος λέει ότι, το να σκέφτεται κανείς τον κύκλο ζωής ενός προϊόντος (LCA) είναι εύκολο, αλλά τα πράγματα δυσκολεύουν όταν χρειάζεται να συλλέξει όλα εκείνα τα στοιχεία που είναι απαραίτητα για την ανάλυση. Ο Joshi υποστήριξε ότι θα πρέπει να συλλεχθούν περισσότερα στοιχεία σχετικά με τις επιπτώσεις που έχουν αυτά τα προϊόντα στο περιβάλλον και να είναι διαθέσιμα στο ευρύ κοινό.

Υπό ιδανικές συνθήκες, αυτού του είδους οι εκτιμήσεις είναι δυνατό να βοηθήσουν ένα μεγάλο μέρος των βιομηχανιών να «καθαρίσει και να πρασινίσει» τα προϊόντα του και τις κατασκευαστικές διαδικασίες. Αν τα νανοϋλικά που παρασκευάζονται με πράσινες διαδικασίες αντικαθιστούσαν τα ήδη υπάρχοντα υλικά των προϊόντων, αν τα καινούργια νανοπροϊόντα σχεδιάζονταν μέσω πράσινων μηχανικών αρχών και αν ακολουθούσαν καθαρότερες παρασκευαστικές διαδικασίες βασισμένες στη νανοτεχνολογία, τότε, μακροπρόθεσμα, θα μπορούσε να προκύψει μία καινούργια βιομηχανική οικολογία [17,47,48,49,50,51,52].

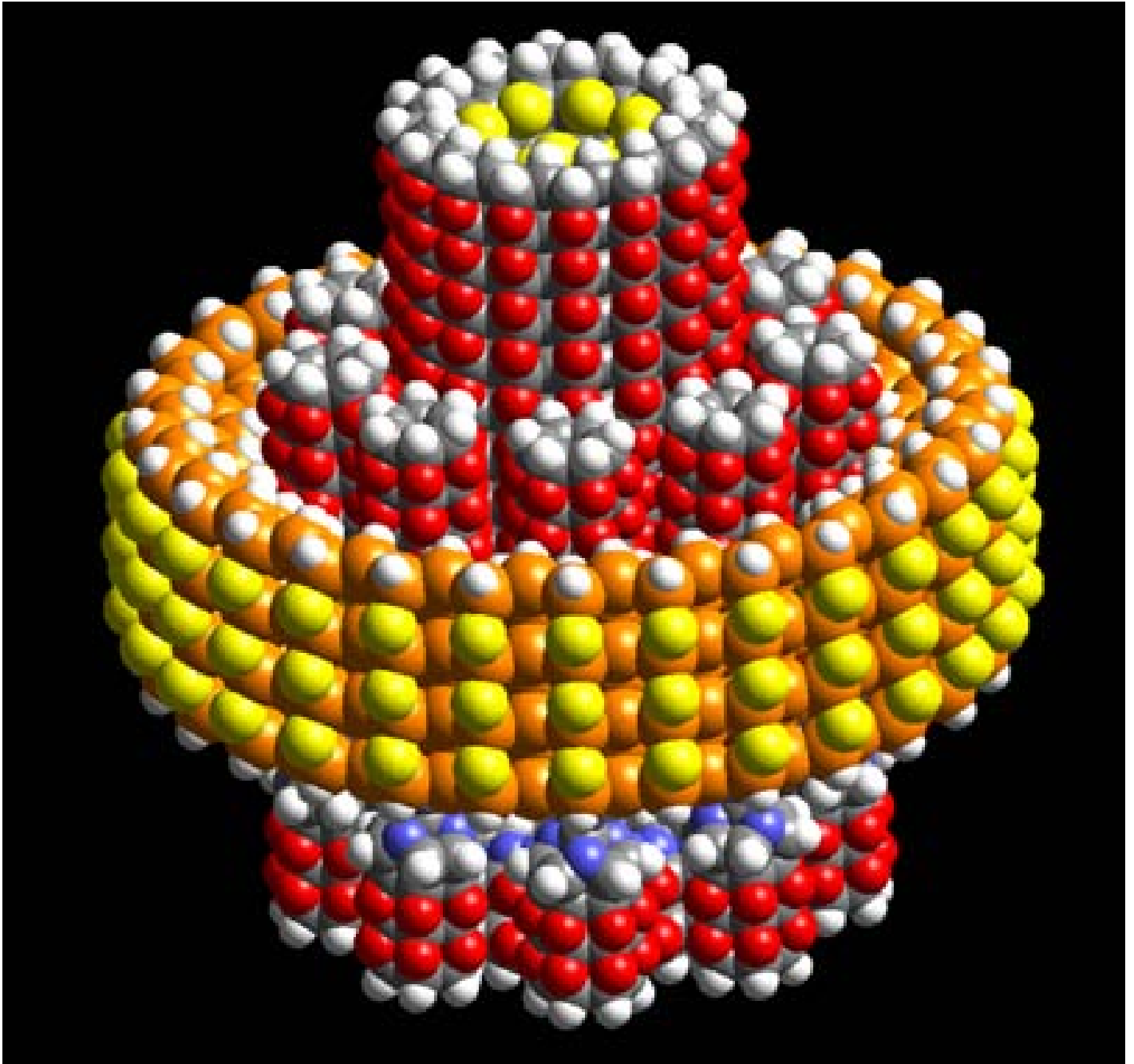


Σύμφυρμα νανοράβδων άνθρακα

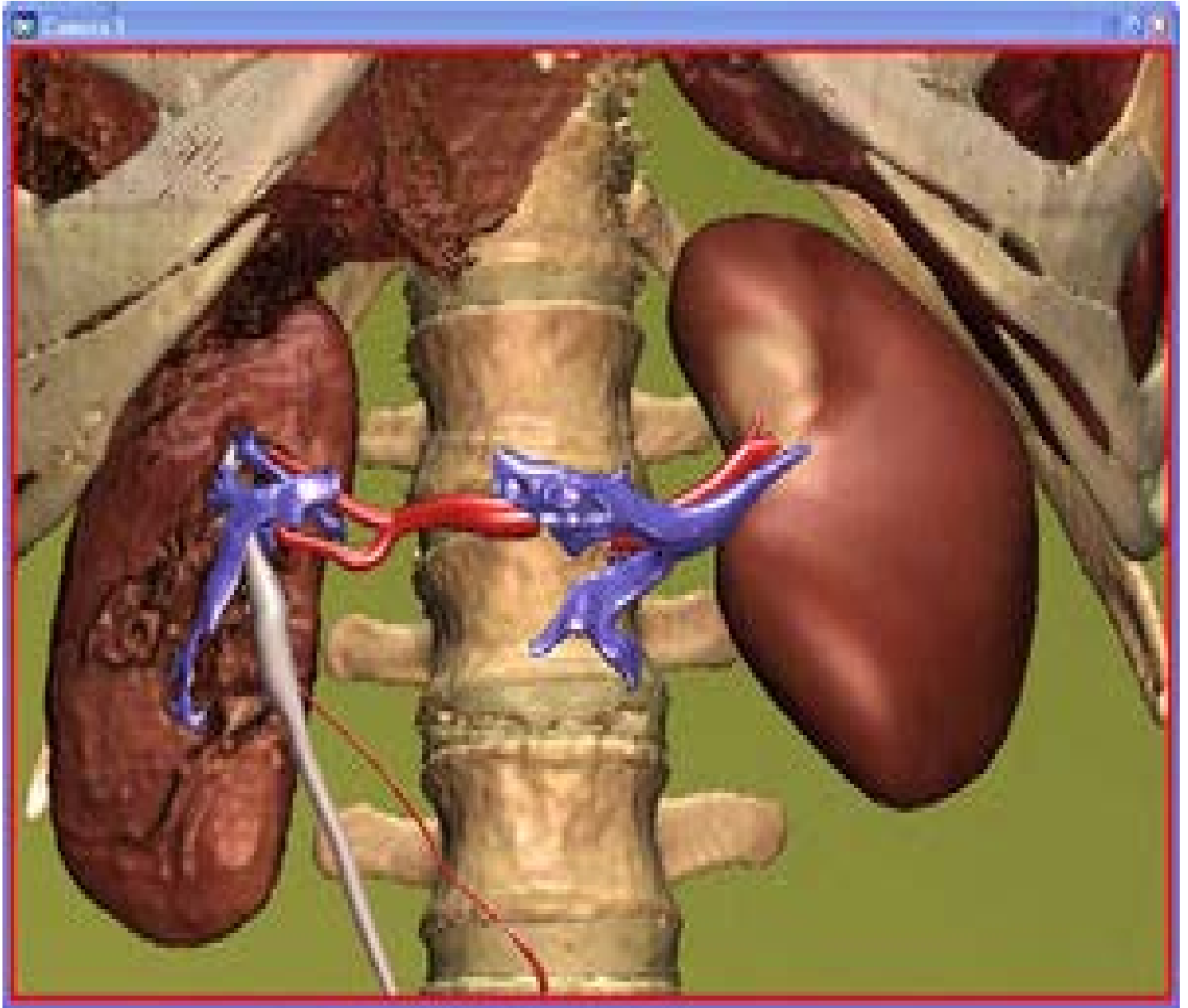
(Σύγκριση του μεγέθους με το δάκτυλο ενός χεριού) [63]



Σύγκριση του μεγέθους του εντόμου με τα σύγχρονα μικροτσιπ [64]



Νανοεξαρτήμα ηλεκτρονικών υπολογιστών [62]



**Η νανοτεχνολογία στην υπηρεσία της ανθρώπινης υγείας
(Νανοεξάρτημα-βοηθός κατά την διαδικασία της αιμοκάθαρσης) [61]**



Η νανοτεχνολογία οδηγεί τα Mobile του μέλλοντος [65]



Ένα σύγχρονο μικροσκόπιο στο εργαστήριο νανοτεχνολογίας του Jawaharlal Nehru Κέντρου for Advanced Scientific Research (JNCASR), στο Bangalore [66]

3.5.2. Πράσινη Νανοηλεκτρονική

1. Σύμφωνα με τον **Farhang Shadman**, διευθυντή του Εθνικού Ιδρύματος Επιστημών–Semiconductor Research Corporation (NSF-SRC) Engineering Research Center for Benign Semiconductor Manufacturing, Πανεπιστήμιο της Αριζόνα στο Tucson, αναπτύσσονται νέες μέθοδοι στοίβαξης σε επίπεδα ημιαγωγίων υλικών για την κατασκευή μικροτσιπ. Η ομάδα του ασχολείται με την κατασκευή νανοφίλμ και με την ακριβή τοποθέτηση των υλικών. Η διαδικασία που ακολουθούν – η οποία αποκαλείται επιλεκτική απόθεση-υπόσχεται τη μέγιστη εκμετάλλευση των ακατέργαστων υλικών και την ελαχιστοποίηση των αποβλήτων.
2. Μία πράσινη προσέγγιση για το σχεδιασμό μεταλλικών χαρακτηριστικών στις επιφάνειες με βάση τη νανοκλίμακα, προωθείται από τον **James E. Hutchison** [49], ο οποίος είναι χημικός στο Πανεπιστήμιο του Όρεγκον στην Eugene. Η διαδικασία, η αποκαλούμενη ως βιομοριακή νανολιθογραφία, δομεί πρότυπα σχέδια από κάτω προς τα πάνω και χρειάζεται λιγότερο νερό και διαλύτες σε σύγκριση με την παραδοσιακή από πάνω προς τα κάτω λιθογραφία.
3. Οι απλές υδάτινες αντιδράσεις εμβάπτισης είναι δυνατό να χρησιμοποιηθούν για τη δημιουργία προτύπων νανοκλίμακας στις επιφάνειες των ημιαγωγών και θα μπορούσαν να κάνουν πραγματικότητα την κατασκευή μικροτσιπ, σύμφωνα με τη **Jillian Burial**, χημικό στο Πανεπιστήμιο της Alberta στο Edmonton. Στο εργαστήριό της εφαρμόζει γαλβανικές χημικές αντιδράσεις σε θερμοκρασία δωματίου, οι οποίες απαιτούν μόνο μεταλλικά άλατα, ημιαγωγία πλακίδια πυριτίου και νερό, για να δημιουργηθούν περίπλοκες μεταλλικές δομές σε νανοκλίμακα. Με την προσθήκη μιας ορισμένης ποσότητας αγώγιμων ουσιών, οι ερευνητές μπορούν να αλλάξουν τη μορφολογία, το μέγεθος και το σχήμα των υβριδικών νανοσωματιδίων / ημιαγωγίων υλικών. Ελέγχουν τα πρότυπα με τη βοήθεια μικρών ποσοτήτων αγώγιμων συμπολυμερών.
4. Ένα νανοϋλικό που δημιουργήθηκε πρόσφατα θα μπορούσε να αντικαταστήσει το συγκολλητικό κράμα κασσιτεροκόλλησης που χρησιμοποιείται σε μεγάλη κλίμακα ως συνδετικό υλικό σε ηλεκτρονικά προϊόντα, όπως υποστηρίζει η **Yi Li**, χημικός στο Ίδρυμα Τεχνολογίας Georgia στην Ατλάντα. Στο εργαστήριό της

ερευνά εναλλακτικά υλικά, τα οποία αποκαλούνται ηλεκτρικές αγώγιμες κολλητικές ταινίες (electrically conductive adhesives ECAs), οι οποίες δεν περιέχουν μόλυβδο και μπορούν να παραχθούν γρηγορότερα και με λιγότερη κατανάλωση ενέργειας. Η ομάδα βελτίωσε την απόδοση των ECAs όταν χρησιμοποίησε πρόσθετη ουδέτερη ουσία από άργυρο και μοριακά υποστρώματα για να δημιουργήσει ένα περιβαλλοντικά φιλικό νανοσυνθετικό προϊόν.

5. Σύμφωνα με τη **Fan Xu** του Πανεπιστημίου της Φλόριδα στο Gainesville, θα πρέπει να θεωρείται εφικτή η κατασκευή καλύτερων συμπαγών ιονικών μπαταριών λιθίου με άνοδο και κάθοδο από νανοίνες. Περιέγραψε τις προσπάθειες της ομάδας της να σχεδιάσει και να κατασκευάσει τρισδιάστατες μπαταρίες με βάση τη νανοδομή, γεγονός που υπόσχεται υψηλή χωρητικότητα σε αποθηκευμένη ενέργεια. [17,49,50,52].



Νανοδομές από ασήμι [17]

3.5.3. Πράσινη Σύνθεση των Νανοϋλικών

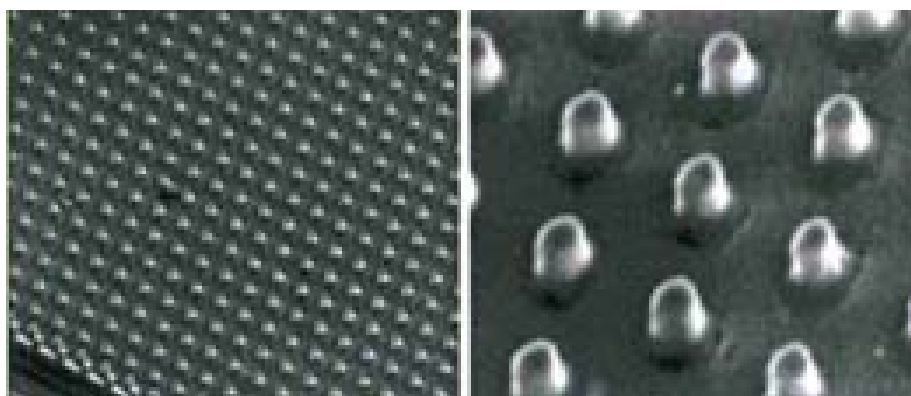
1. Ο **Somenath Mitra**, ερευνητής στο Ίδρυμα Τεχνολογίας του New Jersey στο Newark, περιέγραψε μία πράσινη μέθοδο κατασκευής υδατοδιαλυτών νανοσωλήνων άνθρακα, οι οποίοι μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε εφαρμογές λεπτών ταινιών, στον τομέα της ηλεκτρονικής, σε σύνθετα υλικά και στον τομέα παράδοσης φαρμάκων. Η τεχνική αυτή επιτρέπει την προσθήκη μίας ποικιλίας λειτουργικών ομάδων στους νανοσωλήνες, έτσι ώστε να τους προσαρμόζει στην κάθε εφαρμογή. Για να προκαλέσει την έναρξη των αντιδράσεων της σύνθεσης, η ομάδα του Mitra χρησιμοποίησε την ενέργεια των μικροκυμάτων. Αυτήν η καινούργια τεχνική παράγει προϊόντα μέσα σε λίγα λεπτά, και όχι σε μέρες, και απαιτεί λιγότερη ενέργεια και χημικά.
2. Οι μεταλλικοί νανοράβδοι και τα νανοςύρματα, τα οποία θεωρούνται σημαντικά σε εφαρμογές οπτικής και ηλεκτρονικής, είναι δυνατό να συντεθούν μέσω της πράσινης χημείας, δήλωσε η **Catherine J. Murphy**, χημικός στο Πανεπιστήμιο της Νότιας Καρολίνας στην Κολούμπια. Οι νανοράβδοι από χρυσό και άργυρο, καθώς και νανοςύρματα από άργυρο, μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε αντιδράσεις με νερό, σε θερμοκρασία δωματίου και με τη χρήση φθηνών επιφανειοδραστικών ουσιών ερευνητές διαπίστωσαν ότι μπορούν να ελέγξουν μέχρι ένα βαθμό το μέγεθος και το σχήμα των νανομορίων που προκύπτουν.
3. Οι κβαντικές κουκκίδες-ημιαγωγικοί νανοκρύσταλλοι είναι πιθανό να κατασκευάζονται με τεχνικές που προβλέπει η πράσινη χημεία, είπε ο **Xaiogena Peng**, χημικός στο Πανεπιστήμιο του Αρκάνσας στο Fayetteville. Οι κβαντικές κουκκίδες δημιουργούν προσδοκίες στον τομέα των ιατρικών απεικονίσεων, των ηλιακών κυψελών και αισθητήρων και των ηλεκτρονικών συσκευών – αλλά το πιο σημαντικό από όλα είναι η προοπτική αντικατάστασης του σεληνίου και του καδμίου που είναι ιδιαίτερα τοξικά.. Συγκεκριμένα στο εργαστήριο του Peng διερευνώνται τρόποι σύνθεσης των κβαντικών κουκκίδων με τη χρήση λιγότερων τοξικών συστατικών, ενώ ο ίδιος ο Peng μελετά την πιθανότητα πρόσμιξης των νανοκρυστάλλων από ψευδάργυρο με απώτερο σκοπό να αντικατασταθούν οι νανοκρύσταλλοι από σεληνίο και κάδμιο. Σύμφωνα με τα

παραπάνω, ο ψευδάργυρος σε συνδυασμό με μέταλλα μεταβατικών στοιχείων παρουσιάζει χαμηλότερη τοξικότητα.

4. Μία νέα μέθοδος για τη σύνθεση μεταλλουργικών νανοϋλικών θα μπορούσε να εξοικονομήσει ενέργεια και παράλληλα να επιτρέψει στους επιστήμονες να ελέγχουν σε μεγαλύτερο βαθμό τη νανοδομή και τη μορφολογία, όπως επίσης και να τους επιτρέψει άνετη πρόσβαση στις μετασταθείς φάσεις σε χαμηλές θερμοκρασίες, όπως είπε ο **Raymond Schaak**, χημικός στο A&M Πανεπιστήμιο του Τέξας στο College Station. Τα ενδομεταλλικά συστατικά και κράματα είναι χρήσιμα για τους μαγνήτες, τις μπαταρίες, τους καταλύτες, τις μνήμες των υπολογιστών, τις λεπτές ταινίες όπως και στη ρομποτική. Ο Schaak περιέγραψε τη μέθοδο που ακολουθείται στο εργαστήριό του, «μεταλλουργία σε φούρνο», η οποία περιλαμβάνει την ανάμειξη των νανοσωματιδίων με νερό, σε χαμηλές θερμοκρασίες και υπό την παρουσία ενός καταλύτη.
5. Η πράσινη σύνθεση των οξειδίων των μετάλλων σε μορφή νανοδομής είναι πιθανή, σύμφωνα με τον **Stanislaus Wong**, χημικό στο Κρατικό Πανεπιστήμιο της Νέας Υόρκης στο Stonybrook και στο Brookhaven National Laboratory. Οι μέθοδοι που ακολουθούνται στο εργαστήριό του για την κατασκευή κρυσταλλικών κεραμικών—εν δυνάμει χρήσιμων στον τομέα της ηλεκτρονικής, στις μνήμες των υπολογιστών και σε βιοϊατρικές και περιβαλλοντικές εφαρμογές—κάνουν χρήση χαμηλών θερμοκρασιών και τη χυτού άλατος [17].



Νανοηλεκτρόδια [17]



Διοξείδιο του τιτανίου σε νανοκλίμακα [17]

3.5.4. Πράσινες Διαδικασίες Νανοπαρασκευής

1. Η κατασκευή σχετικά μεγάλων ποσοτήτων οργανικών νανοδομών είναι πλέον δυνατή μέσω της χρήσης μίας νέας μεθόδου που συνδυάζει εργαλεία από το χώρο της μικροηλεκτρονικής και της οργανικής χημείας, σύμφωνα με τον **Joseph DeSimone**, χημικό στο Πανεπιστήμιο της Βόρειας Καρολίνας, Chapel Hill. Ο γενικός στόχος της «συνδυαστικής» τεχνικής του, η οποία αποκαλείται (Αντιγραφή Σωματιδίων σε Μη-υγραντά Πρότυπα) Particle Replication in Non-Wetting Templates, PRINT επιτρέπει τη γρήγορη και αλάνθαστη αναπαραγωγή νανοσωματιδίων σε κάθε σχήμα. Επιπλέον, είναι δυνατό να προστεθούν λειτουργικές ομάδες στα προσαρμοσμένα νανοϋλικά όσον αφορά στον τομέα των βιοχημικών εφαρμογών. Ο DeSimone περιέγραψε τον τρόπο που η ομάδα του ανέπτυξε και εξέλιξε την εν λόγω μέθοδο και πρόσθεσε έναν αποτελεσματικό τρόπο συλλογής των προϊόντων. Η ομάδα του κατασκεύασε με επιτυχία νανο- και μικρο- σωματίδια που περιέχουν βιοενεργά συστατικά. Η PRINT είναι μία πράσινη μέθοδος με χαμηλή παραγωγή αποβλήτων, η οποία είναι δυνατό να χρησιμοποιηθεί στην κατασκευή μεγάλου εύρους οργανικών νανοσωματιδίων.
2. Οι νανοίνες που κατασκευάζονται από άμυλο και πρωτεΐνες θα μπορούσαν να κατασκευάζονται μέσω της τεχνολογίας της electrospinning technology (ηλεκτρο-ινοποίησης), υποστηρίζει ο **Jochen Weiss**, ερευνητής στο Πανεπιστήμιο της Μασαχουσέτης στο Amherst. Ο ίδιος περιέγραψε την τελευταία έρευνα της ομάδας του σχετικά με την κατασκευή των πολυμερικών νανοινών και τις μελέτες που έγιναν για τις ιδιότητές τους. Για παράδειγμα, κάποιες νανοίνες είναι αντιμικροβιακές, κάποιες συνενώνουν μέταλλα και άλλες είναι δυνατό να σχηματίσουν ιδιαιτέρως σταθερά ικριώματα (scaffolds). Η τεχνολογία της ηλεκτρο-ινοποίησης παρέχει την προοπτική της ανακύκλωσης τεράστιων ποσοτήτων βιοπολυμερών αποβλήτων από βιομηχανίες χημικών, τροφίμων και φαρμακευτικών προϊόντων και της μετατροπής τους σε χρήσιμες, βιοδιασπώμενες νανοίνες. Ο Weiss τόνισε ότι αυτά τα υλικά υπόσχονται πολλές εφαρμογές σε διάφορους τομείς όπως: συσκευασίας, τεχνητών ιστών και φιλτραρίσματος.

3. Σύμφωνα με τη **Julie Chen**, διευθύντρια του Nanomanufacturing Center of Excellence στο Πανεπιστήμιο της Μασαχουσέτης, στο Lowell, έχουν αρχίσει να αναπτύσσονται μέθοδοι αλλά και εργαλεία για ασφαλείς διαδικασίες νανοπαρασκευής. Η Chen ανέφερε έρευνες που μελετούν τον τρόπο εκτίμησης και βελτίωσης της διαδικασίας σύνθεσης των νανοσυστατικών, όπως για παράδειγμα, η χρήση αερολυμάτων, έτσι ώστε να καθορίζεται η ποσότητα των νανοϋλικών που απορροφάται από ένα πανί και η ποσότητα που χάνεται στον αέρα. Μέσα από μια εμπειριστατωμένη μελέτη κατέληξε στο συμπέρασμα ότι, η εκπομπή νανοσκόνης κατά τη διάρκεια της παρασκευής θα μπορούσε να μειωθεί μέσω της χρήσης ηλεκτρικών πεδίων [17].



Στα δεξιά η καθηγήτρια Julie Chen δουλεύει με τους μαθητές της στο Nanomanufacturing Center of Excellence στο Πανεπιστήμιο της Μασαχουσέτης στο Lowell [17]

3.5.5.Νανο-Βελτιωτική Πράσινη Τεχνική

Οι πράσινες τεχνολογίες συζητούνται από την εποχή που σχεδιάστηκαν τα πρώτα δημόσια προγράμματα υγείας, έτσι ώστε να παρέχουν στους ανθρώπους καθαρό πόσιμο νερό. Από τότε, έχουμε δει να κατασκευάζονται καθαριστήρες των καπνοδόχων των εργοστασίων, καταλυτικοί μετατροπείς για τα αυτοκίνητα, ηλιακοί συλλέκτες, συσκευές χαμηλής ενέργειας και πολλά άλλα «πράσινα» προϊόντα.

Σήμερα, αναμένεται να φτάσει μία νέα γενιά πράσινης τεχνολογίας, καθώς η ανάγκη για ανεύρεση εναλλακτικών πηγών ενέργειας γίνεται πειστική και οι επενδυτές βλέπουν ότι υπάρχει υγιές κέρδος από ένα μεγάλο εύρος καινοτόμων προϊόντων. «Η πράσινη τεχνολογία θα μπορούσε να αποτελέσει την πιο ελκυστική οικονομική ευκαιρία του 21^{ου} αιώνα», ήταν τα λόγια του John Doerr, ένας τολμηρός καπιταλιστής, ο οποίος δημιούργησε ένα επενδυτικό πακέτο πράσινης τεχνολογίας αξίας 100 εκατομμυρίων δολαρίων, σύμφωνα με το άρθρο της εφημερίδας *Washington Post* που δημοσιεύθηκε στις 18 Απριλίου του 2006 υπό τον τίτλο, *Internet Visionaries Betting On Green Technology Boom*. Το 2005, ο ιδρυτής της Microsoft, Bill Gates, χορήγησε το ποσό των 84 εκατομμυρίων δολαρίων σε μία εταιρεία της Καλιφόρνιας με σκοπό την κατασκευή πέντε βιοδυλιστηρίων όπου γίνεται χρήση αιθανόλης. Οι ανήκοντες στο χώρο των τολμηρών καπιταλιστών επένδυσαν στην πράσινη τεχνολογία εκείνη τη χρονιά το ποσό των 1,6 δισεκατομμυρίων δολαρίων, ποσό που αυξήθηκε κατά 35 τοις εκατό από το 2004.

Οι επιστήμονες που συμμετείχαν στο Συνέδριο της American Chemical Society (ACS) ανέφεραν ότι κατά τον 21^ο αιώνα, είναι πιθανό το επόμενο κύμα των πράσινων τεχνολογιών να αντλείται σε μεγάλο βαθμό από τη νανοτεχνολογία. Σύμφωνα με τον Scott Rickett, πρόεδρο της Nanofilm, «Η νανοτεχνολογία έχει τη δυνατότητα να απελευθερώσει προοπτικές και μέσα που θα μας επιτρέψουν να αντικαταστήσουμε τις υπάρχουσες πρακτικές που ακολουθούμε, οι οποίες είναι βλαβερές για το περιβάλλον, με άλλες πιο πράσινες». Αν τα νανοϋλικά και οι ασυνήθιστες ιδιότητές τους αξιοποιηθούν στο έπακρο και αν χρησιμοποιηθούν εργαλεία προηγμένης τεχνολογίας για το χειρισμό της ύλης σε νανοκλίμακα, οι ερευνητές προσδοκούν ότι οι πράσινες τεχνολογίες θα προσφέρουν καλύτερες αποδόσεις και νέες δυνατότητες. Η εν λόγω πρόοδος αναμένεται να βελτιώσει τα μέσα καθαρισμού του αέρα, του νερού και του

εδάφους, όπως επίσης και να παράγει ενέργεια σε αποδοτικό βαθμό, να μειώσει τα απόβλητα και να ανανεώσει τις πηγές.

Ένας ολοένα αυξανόμενος αριθμός επιχειρήσεων αγοράζει πλέον νανοβελτιωτικές πράσινες τεχνολογίες, σύμφωνα με τον **Sean Murdock**, διοικητικό στέλεχος της NanoBusiness Alliance. Σε ένα από τα πράσινα σεμινάρια περί νανοτεχνολογίας, υπογράμμισε τις ελπιδοφόρες προσπάθειες που κάνουν οι επιχειρήσεις, συμπεριλαμβανομένων των προσπαθειών να παράγουν λάμπες φωτισμού που να εκμεταλλεύονται καλύτερα την ενέργεια παράγοντας περισσότερο φως αλλά με εκπομπή λιγότερης θερμότητας · άμμος με νανοπορώδη υλικά που αυξάνουν την επιλεκτική περισυλλογή μετάλλων στα ορυχεία και προκαλούν λιγότερη μόλυνση · και νέοι, ορθολογικά κατασκευασμένοι καταλύτες που είναι πιο αποδοτικοί καθώς προκαλούν ελεγχόμενες χημικές αντιδράσεις.

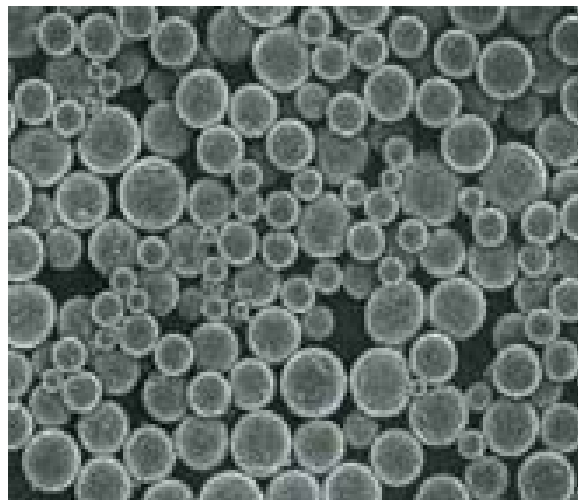
Ωστόσο, ο Murdock τόνισε το γεγονός ότι επί του παρόντος οι ανακαλύψεις του τύπου «πως μπορεί η νανοτεχνολογία να κάνει τον κόσμο πιο πράσινο» βρίσκονται ακόμη σε πολύ πρώιμα στάδια. Στο Συνέδριο της American Chemical Society (ACS), οι ερευνητές παρουσίασαν ένα μεγάλο αριθμό ερευνών που θα μπορούσαν να οδηγήσουν σε πιο προηγμένες πράσινες τεχνολογίες με δυνατότητες εφαρμογής στον τομέα της ενέργειας, των δραστηριοτήτων εξυγίανσης και της βιομηχανίας. Αυτά τα προγράμματα αποτελούν μόνο μία αρχή: οι ερευνητές οραματίζονται πολύ περισσότερη πράσινη τεχνολογία για το μέλλον, όπως τονίζεται και ακολούθως [17,47,48].

3.5.6.Νανο – Βελτιωτικές Ενεργειακές Τεχνικές

1. Οι ημιαγώγιμοι νανοκρύσταλλοι υπόσχονται νέα είδη ηλιακών κυψελών, υποστηρίζει ο **Paul Alivisatos**, χημικός στο Πανεπιστήμιο της Καλιφόρνια στο Berkeley. Η ομάδα του είχε ως στόχο να κατασκευάσει κυλίνδρους από εύκαμπτες, ανθεκτικές και χαμηλού κόστους ηλιακές κυψέλες με τη χρήση διαλυμάτων. Αυτοί οι κύλινδροι θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν σε μία μεγάλης κλίμακας έκταση και να παράγουν ηλεκτρικό ρεύμα από το φως του ηλίου. Ο Alivisatos ανέφερε ότι ο κύριος στόχος του είναι η δημιουργία ενός συστήματος νανοκρυστάλλων φιλικών προς το περιβάλλον.
2. Μία άλλη μέθοδος κατασκευής εύκαμπτων ηλιακών κυψελών περιγράφηκε από τον **Michael McGehee**, έναν επιστήμονα υλικών από το Πανεπιστήμιο του Stanford στο Palo Alto της Καλιφόρνια. Η ομάδα του κατασκευάζει το ενεργό στρώμα των ηλιακών τους κυψελών μέσω της δημιουργίας αυτοσυναρμολογούμενων νανοπορώδων ταινιών ανόργανων ημιαγωγών και ακολούθως γεμίζει τους πόρους με οργανικούς ημιαγωγούς. Αυτό το διάστημα η ομάδα του McGehee εξετάζει την αποτελεσματικότητα αυτών των υβριδικών ηλιακών κυψελών.
3. Η νανοτεχνολογία είναι δυνατό να συμβάλλει στο να ξεπεραστούν τα εμπόδια στην ανάπτυξη θερμοευαίσθητων ηλιακών κυψελών, σύμφωνα με τον **Larry Lewis** της General Electric. Ο στόχος της ομάδας του είναι να κατασκευάζει εύκαμπτες, ιδιαίτερα αποδοτικές, οργανικές ηλιακές κυψέλες που θα πραγματοποιούν ένα είδος «τεχνητής φωτοσύνθεσης». Ο Lewis ανέφερε ότι η ομάδα του ανακάλυψε μια «πράσινη» τεχνική ώστε να φτιάχνει κόλλα από νανοσωματίδια τιτανίου σε χαμηλές θερμοκρασίες με τη χρήση της υπεριώδους ακτινοβολίας (UV).
4. Η **Zhilian Zhou**, χημικός στο Πανεπιστήμιο της Βόρειας Καρολίνας στο Chapel Hill, ανέφερε ένα νέο ελπιδοφόρο είδος μεμβράνης ανταλλαγής πρωτονίων που έχει σχεδιαστεί με βάση τη νανοκλίμακα. Η ίδια και οι συνάδελφοί της εντόπισαν έναν τρόπο χωρίς διαλύτες για το συνδυασμό των μεμβρανών με ένα νέο φθοριούχο πολυμερές. Χρησιμοποιώντας παράλληλα ένα τρισδιάστατο πρότυπο σε νανοκλίμακα, ανακάλυψαν ότι μπορούσαν να αυξήσουν την

επιφάνεια του υλικού και την αγωγιμότητα του πρωτονίου. Πειράματα σε ηλεκτρικά στοιχεία καύσιμης ύλης- συσκευές που μετατρέπουν τη χημική ενέργεια σε ηλεκτρική- έδειξαν ότι αυτές οι νέες μεμβράνες υπερέχουν κατά πολύ των παραδοσιακών, όπως είπε η Zhou. Οι μεμβράνες θα μπορούσαν να προσαρμοστούν και να χρησιμοποιηθούν σε ηλεκτρικά στοιχεία καύσιμης ύλης που λειτουργούν απευθείας με μεθανόλη, αντί του υδρογόνου.

5. Τα μεταλλικά υδρίδια σε συνδυασμό με τα νανοπορώδη κριώματα (scaffolds) αποτελούν υποψήφια υλικά για την αποθήκευση υδρογόνου, αναφέρει ο **Adam F. Gross** των HRP Laboratories στο Μαλιμπού της Καλιφόρνια. Αυτού του είδους τα υλικά αποθήκευσης, αν κατασκευάζονταν, θα μπορούσαν να αποτελέσουν ένα σημαντικό κομμάτι στην οικονομία υδρογόνου. Η ομάδα του Gross στοχεύει στην ανάπτυξη υλικών που θα είναι ετοιμοπαράδοτα και θα απελευθερώνουν υδρογόνο, αν χρειαστεί. Σύμφωνα με τον Gross, η προσθήκη ενός νανοπορώδους κριώματος (scaffolds) στο μεταλλικό υδρίδιο βελτίωσε το αναστρέψιμο της διαδικασίας. Η ομάδα πειραματίζεται με διάφορα μεγέθη πόρων και μετρά την απόδοση αυτών των υλικών [17].

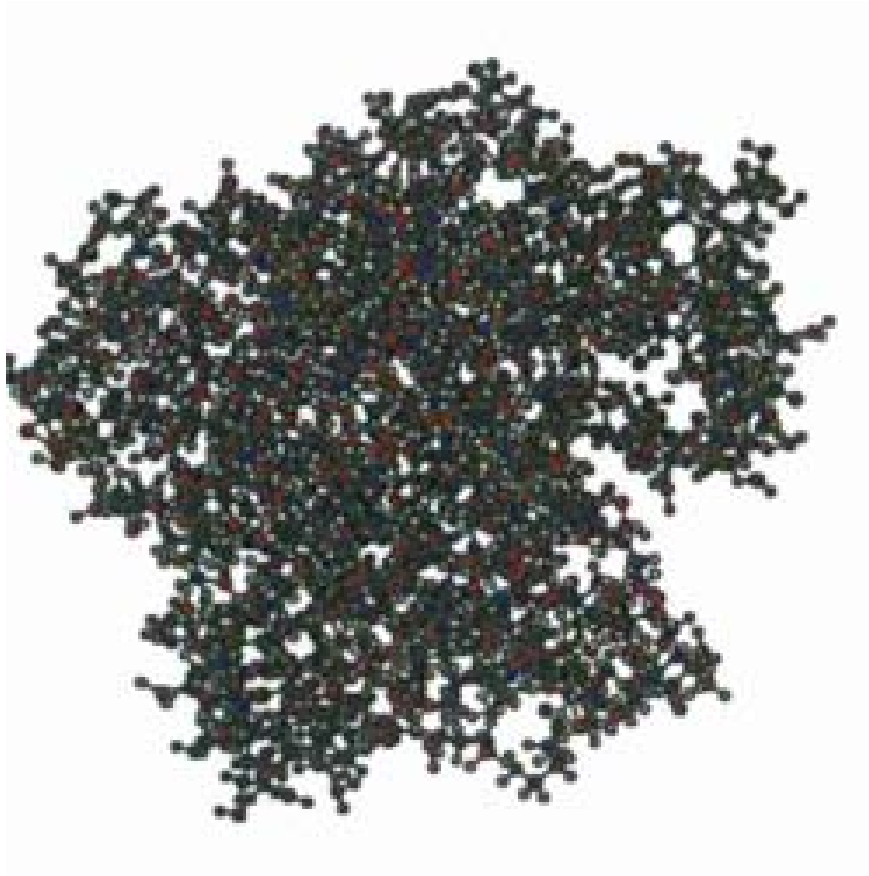


Νανοσυστατικά των ηλιακών κυψελών [17]

3.5.7. Νανο – Βελτιωτικές Τεχνικές Καθαρισμού

1. Τα μαγνητικά νανοσωματίδια θα μπορούσαν να αποτελέσουν ένα σημαντικό πράσινο εργαλείο για την αφαίρεση αρσενικού από το πόσιμο νερό, και πιο συγκεκριμένα για στοχευμένες θεραπείες στις αναπτυσσόμενες χώρες, είτε η **Vicki Colvin**, χημικός στο Πανεπιστήμιο Rice στο Houston του Τέξας. Τα νανοσωματίδια του οξειδίου του σιδήρου προσδένονται ισχυρά κυρίως στο αρσενικό και μπορούν να αποκολληθούν από το διάλυμα με τη χρήση μαγνητών. Η Colvin περιέγραψε τις μελέτες της ομάδας της που έχουν ως σκοπό να καθορίσουν ποιο είναι το βέλτιστο μέγεθος που μπορούν να πάρουν τα νανοσωματίδια για να έχουν αποτελεσματικό δέσιμο στο αρσενικό αλλά συγχρόνως και για εύκολη αποκόλληση από το διάλυμα. Τα σωματίδια μεγέθους 12 νανομέτρων αποδείχθηκε ότι ήταν τα πιο αποτελεσματικά, όπως ανέφερε η ίδια, και αφαίρεσαν το 99,2 τοις εκατό του αρσενικού από το διάλυμα.
2. Η **Cherie Geiger**, χημικός στο Πανεπιστήμιο της Κεντρικής Φλόριδα στο Ορλάντο, ανέφερε ότι τα μηδενικού σθένους (zero-valent) νανοσωματίδια του σιδήρου και του μαγνησίου διαλύουν πιο αποτελεσματικά τα βαριά μέταλλα και τους οργανικούς διαλύτες στο νερό και σε ιζήματα, όταν συνδυάζονται με ρευστές μεμβράνες γαλακτώματος. Οι μεμβράνες αύξησαν την επαφή ανάμεσα σε αυτά τα καταλυτικά νανοσωματίδια και τους στοχευμένους μολυντές. Η Geiger και οι συνάδελφοί της εφάρμοσαν αυτό το ελπιδοφόρο εργαλείο εξυγίανσης σε διαφορετικές συνθήκες και ανέλυσαν τα αποτελέσματα στα οποία κατέληξαν.
3. Οι πολυμερείς νανόσφαιρες προσφέρουν έναν καινούργιο τρόπο επιλεκτικής ανίχνευσης επικίνδυνων υλικών σε υδάτινα περιβάλλοντα, σύμφωνα με τον **Barry K. Lavine**, χημικό στο Κρατικό Πανεπιστήμιο της Οκλαχόμα στο Stillwater. Περιέγραψε τον τρόπο που η ομάδα του προετοίμασε τις πολυμερείς νανόσφαιρες, οι οποίες αλλάζουν το σχήμα και τις οπτικές τους ιδιότητες όποτε παρουσιάζεται κάποιο συγκεκριμένο χημικό στοιχείο. Η αλλαγή αυτή μπορεί να μετρηθεί μέσω των βιοαισθητήρων (τύπου επιφανείας πλάσματος συντονισμού), η οποία επιτρέπει την ανίχνευση μολυντών ανά δισεκατομμύριο (pps). Οι νανόσφαιρες είναι δυνατό να προσαρμοστούν για να χρησιμοποιηθούν στην

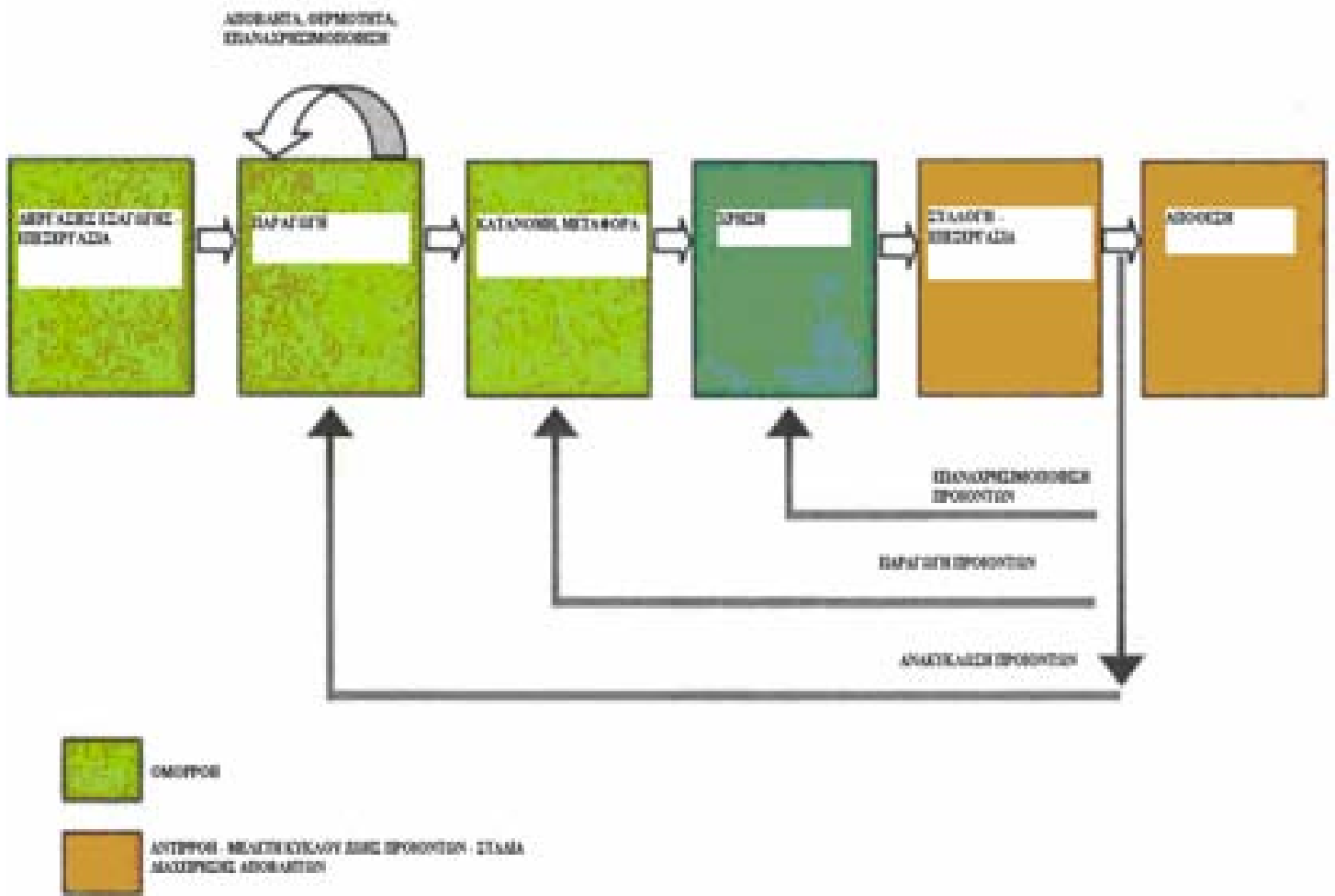
ανίχνευση του συγκεκριμένου χημικού μέσω της μοριακής αποτύπωσης των πολυμερών. Ο Lavine σημείωσε ότι η μέθοδος αυτή θα μπορούσε να αποδειχθεί ιδιαίτερα χρήσιμη στην ανίχνευση φαρμακευτικών και άλλων μολυντών που προκύπτουν στα υδάτινα ρεύματα, κάτι που σήμερα είναι αρκετά δύσκολο να επιτευχθεί [17,49].



Νανοδομές, που ανιχνεύουν και παγιδεύουν μεταλλικά ιόντα και άλλους επιμολυντές (επιβλαβείς ουσίες) από το περιβάλλον [17]

3.5.8 Νανο – Βελτιωτικές Πράσινες Τεχνικές στη Βιομηχανία

- Σύμφωνα με τον **Victor S-Y. Lin**, χημικό στο Κρατικό Πανεπιστήμιο της Αίοβα στο Ames, είναι πιθανό να εφαρμοστεί μία φιλική προς το περιβάλλον κατάλυση μέσω της χρήσης συμβατών καταλυτικών συστημάτων, τα οποία θα ενσωματωθούν σε μεσοπορώδη νανοσωματίδια από πυρίτιο MSN (Mesoporous silica nanoparticles). Ο ίδιος περιέγραψε το πώς αυτός και η ομάδα του εισήγαγαν καταλύτες στους πόρους των MSN (Mesoporous silica nanoparticles), και τους προσαρμοσαν με τρόπο που να πραγματοποιούν ορισμένες αντιδράσεις, όπως για παράδειγμα να συνθέσουν βιοντίζελ (biodiesel) από ελεύθερα λιπαρά οξέα σε πετρελαϊκό έλαιο. Η σύνθεση μπορεί να γίνει σε χαμηλές θερμοκρασίες με τη χρήση μικροκυμάτων.
- Σύμφωνα με τον **Shas Mattigod**, ερευνητή στο Pacific Northwest National Laboratory στο Richland, Ουάσιγκτον, υπάρχει μία καινοτόμα νανοπορώδης απορροφητική ουσία που απομακρύνει τον υδράργυρο και άλλα τοξικά βαριά μέταλλα από λύματα που παράγονται κατά τη διάρκεια των γεωτρήσεων για πετρέλαιο στα ανοιχτά της θάλασσας και σε πλατφόρμες αερίου. Ανέφερε, επίσης, ότι το υλικό, το οποίο ονομάζεται thiol-SAMMS, απομάκρυνε το 99 τοις εκατό του υδραργύρου από τα ρευστά προϊόντα συμπύκνωσης του αερίου, τα οποία περιείχαν 800 ppm υδραργύρου [17].



[17]

3.6 Εφαρμογές Πράσινης Νανοτεχνολογίας

Υπάρχει λοιπόν η δυνατότητα σύνδεσης των γνώσεων της Νανοτεχνολογίας με τις πρακτικές της πράσινης χημείας και της πράσινης εφαρμοσμένης μηχανικής με στόχο την ανοικοδόμηση μιας περιβαλλοντικά βιώσιμης κοινωνίας. Το πάντρεμα αυτό

μπορεί να συμβάλει στη μείωση της ρύπανσης, στη συντήρηση των φυσικών πόρων και γενικά στο χτίσιμο μιας «πράσινης» οικονομίας.^[73]

Οι αλληλεπιδράσεις μεταξύ νανοτεχνολογίας και πράσινης χημείας, μελετήθηκαν στο εθνικό συμπόσιο της Αμερικανικής Chemical Society το 2006, με πρωτοβουλία του διεθνούς κέντρου Emerging Nanotechnologies (Αναδυόμενων Νανοτεχνολογιών). Τα πρακτικά του συνεδρίου συνοψίστηκαν σε μία έκθεση υπό την επιστήμονα και συγγραφέα Karen Schmidt. Η έκθεση αναφέρεται στην ελαχιστοποίηση των περιβαλλοντικών επιδράσεων μέσω της συντήρησης των πόρων και την εξάλειψη των αποβλήτων μέσω της βελτίωσης της διαδικασίας παραγωγής αλλά και των ίδιων των προϊόντων. Απευθύνει συστάσεις ώστε η περαιτέρω ανάπτυξη της νανοτεχνολογίας να γίνεται με όρους πράσινης ανάπτυξης. Αναφέρει την προσπάθεια παραγωγής προϊόντων και διαδικασιών με μειωμένη τοξικότητα, αυξημένη διάρκεια και βελτιωμένη ενεργειακή απόδοση.^[73]

Δείγματα τέτοιων προσπαθειών, έχουν ήδη κάνει την εμφάνισή τους. Όπως η προσπάθεια κατασκευής σε νανοκλίμακα μοντέλων τσιπ πυριτίου και άλλων επιφανειών, από τον χημικό του πανεπιστημίου του Oregon James Hutchison.



Εικ. 3.6.1 Ο James Hutchison

Η πράσινη προσέγγιση εναπόκειται στην προσπάθεια για ελαχιστοποίησης της απαιτούμενης ποσότητας νερού και διαλύτη σε σχέση με τις παραδοσιακές μεθόδους κατασκευής, καθώς και στην συντήρηση πηγών. Παράλληλες έρευνες στην νανοηλεκτρονική προσπαθούν να αντικαταστήσουν το μόλυβδο και άλλα τοξικά αντιδραστήρια, με φιλικότερα στο περιβάλλον.^[73]

Άλλη μία προσπάθεια αποτελεί αυτή της χημικού Vicki Colvin και των συνεργατών της στο πανεπιστήμιο του Rice, για εφαρμογή της ιδιαίτερης ικανότητας

μαγνητικών νανοσωματιδίων μεγέθους έως 12nm να αφαιρούν περισσότερο από το 99% του αρσενικού σε ένα διάλυμα.



Εικ. 3.6.2 Η Vicki Colvin

Στο πανεπιστήμιο της Οκλαχόμα έχουν κατασκευάσει νανοαισθητήρες που ελέγχουν τους ρύπους σε επίπεδο ενός στο δισεκατομμύριο.^[73]

Άλλες εφαρμογές της επιστήμης της Νανοτεχνολογίας που μπορούν να χαρακτηριστούν ως πράσινες, είναι η παραγωγή ανέξοδων φωτοκυττάρων, η βελτίωση της απόδοσης και η μείωση του κόστους των κυψελών καυσίμου (το καύσιμο του μέλλοντος) και η ανάπτυξη εργαλείων στη νανοκλίμακα που αφαιρούν τα τοξικά υλικά και καθαρίζουν τα επιβλαβή απόβλητα.^[73] Αυτό θα έχει ως αποτέλεσμα την μείωση της εξάρτησής μας από το πετρέλαιο. Μεταφορά ενέργειας μέσα από νανοσωλήνες άνθρακα, που μπορούν να μεταφέρουν 1000 φορές περισσότερη ενέργεια από τα κοινά καλώδια χαλκού, χωρίς μεγάλες θερμικές απώλειες.^[78]

Ένα πρωτότυπο αποτέλεσμα της συνεργασίας νανοτεχνολογίας και πράσινης χημεία αποτελεί ένα προϊόν με την εμπορική ονομασία Gens Nano, και κυκλοφορεί στο Τορόντο του Καναδά από την εταιρία MCH Nano Solutions. Το προϊόν αποτελεί ένα προηγμένο επίστρωμα φωτοκαταλύτη (γίνεται αναφορά στο Παράρτημα), που είναι «πράσινο», και καθαρίζει τα κτήρια από τους ρύπους με τη βοήθεια του ήλιου.

‘Το επίστρωμα φωτοκαταλύτη είναι ο συνδυασμός φωτοκαταλυτών και νανοτεχνολογίας. Με την παρουσία φωτός, ο φωτοκαταλύτης θα αποσυνθέσει τους οργανικούς ρύπους. Χωρίς την προσκόλληση οργανικού ρύπου, ο εναπομένον στην επιφάνεια ανόργανος ρύπος μπορεί εύκολα να ξεπλυθεί από τη βροχή. Είναι αποτελεσματικό ενάντια στους οργανικούς ρύπους, μύκητες, βρύα και προστατεύει το

υπόστρωμα από τον αποχρωματισμό που προκαλεί η UV ακτινοβολία. Το Gens Nano είναι ένα επίστρωμα με βάση το νερό που περιέχει ως φωτοκαταλύτη το αποκαλούμενο διοξείδιο του τιτανίου (TiO_2) (Παράρτημα).

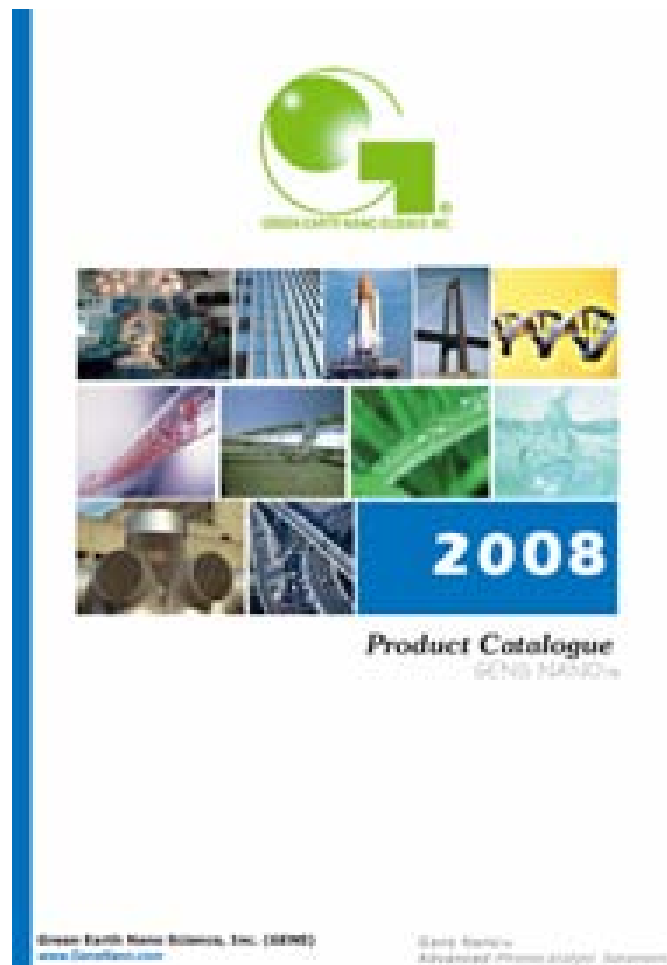


Εικ. 3.6.3 Ιδιότητες διοξειδίου του τιτανίου



Εικ. 3.6.4 Έμβλημα της εταιρίας NanoSolutions

Τα νανοσωματίδια του διοξειδίου του τιτανίου που χρησιμοποιούνται, είναι συντεθειμένα, κρυσταλλωμένα και διασκορπισμένα άμεσα στον υδατικό διαλύτη με τη χημική τεχνολογία της υδροσύνθεσης. Καθιστώντας το διάλυμα πολύ σταθερό και ανώτερο από παρόμοια προϊόντα'.^[73]



Εικ. 3.6.5 Ο κατάλογος προϊόντων Νανοτεχνολογίας της εταιρίας Gens Nano

Τα πλεονεκτήματα του προϊόντος είναι που το κάνουν και 'πράσινο', μεταξύ άλλων είναι και τα εξής:

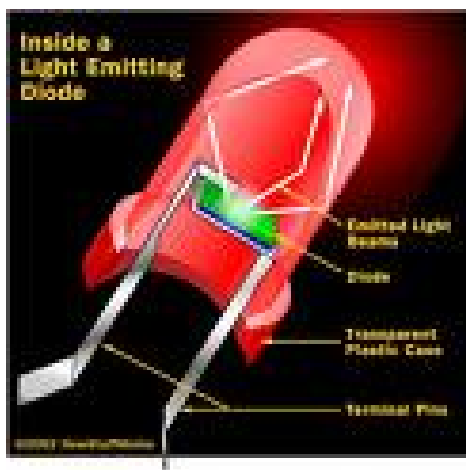
- καθαρίζει τους ατμοσφαιρικούς ρύπους (π.χ. από εξατμίσεις αυτοκινήτων, NO_x , φορμαλδεΐδη, βενζόλιο, VOC's) και τους οργανικούς, από την επιφάνεια αλλά και κοντά σε αυτήν
- μειώνει την κατανάλωση ενέργειας για την ψύξη του κτηρίου το καλοκαίρι
- μάχεται τα βακτήρια και τους ιούς στην επιφάνεια και στον αέρα κοντά στο καλυμμένο κτίριο. ^[73]



Εικ 3.6.6 Η Πρόσοψη ενός κτιρίου πριν και έξι μήνες μετά την εφαρμογή προϊόντος αυτοκαθαρισμού.

Εφαρμογές της πράσινης νανοτεχνολογίας έχουμε και σε τομείς που αφορούν την παραγωγή, αποθήκευση και μεταφορά ενέργειας με νέα μέσα. Σε άρθρο του ο Clemens Betzel αναφέρει ότι η νανοτεχνολογία θα φέρει νέες συσκευές αποθήκευσης ενέργειας που θα αντικαταστήσουν τις υπάρχουσες μπαταρίες. Οι μπαταρίες σήμερα είναι η λιγότερο αποδοτική μορφή αποθήκευσης ενέργειας. Η μέση μπαταρία χρησιμοποιεί τριάντα φορές μεγαλύτερη ενέργεια για να παραχθεί από αυτήν που μπορεί να αποδώσει. Η έρευνα και ανάπτυξη νέων ηλεκτρικών συσκευών μέχρι τώρα περιοριζόταν λόγω της περιορισμένης ικανότητας προσφοράς ενέργειας από τις μπαταρίες.

Αναφέρει την μελλοντική εξάπλωση της χρήσης ηλιακών φορτιστών, για κινητά τηλέφωνα και άλλες ηλεκτρικές συσκευές, με σκοπό την μείωση της έκλυσης διοξειδίου του άνθρακα. Μείωση στις εκπομπές CO₂ κατά 1,5 εκατομμύρια τόνους ετησίως, θα παρατηρηθεί επίσης με την ευρεία αντικατάσταση των κοινών λαμπτήρων φωτισμού με λαμπτήρες LED και με τη χρήση ηλιακών φορτιστών.^[75]



Εικ. 3.6.7 Ένας λαμπτήρας Led



Εικ. 3.6.8 Χρήση φωτισμού LED σε τοίχο κτηρίου στην Κίνα

Οι νανοδομημένες μπαταρίες με ηλεκτρόδια λιθίου-σιδήρου-φωσφόρου είναι μικρότερες, ελαφρύτερες, λιγότερο τοξική για το περιβάλλον, μπορεί να φορτιστεί πιο γρήγορα και να διατηρηθεί φορτισμένη για περισσότερο διάστημα από τις συμβατικές μπαταρίες. [78]

Ένας μεγάλος τομέας εφαρμογών της Νανοτεχνολογίας αποτελούν οι ιατρικές, εν προκειμένω νανοϊατρικές, εφαρμογές με σκοπό την έγκαιρη και έγκυρη διάγνωση μιας ασθένειας σε πολύ πρώιμο στάδιο. Μέχρι σήμερα ο συμβατικός τρόπος παρατήρησης μιας ασθένειας γινόταν αφού πρώτα είχαν εμφανιστεί κάποια συμπτώματα

της ασθένειας σε ιστούς του ασθενή, στάδιο το οποίο μπορεί να είναι και αρκετά προχωρημένο. Σκοπός της χρήσης της νανοτεχνολογίας είναι η παρατήρηση και ο χαρακτηρισμός μιας ασθένειας σε κυτταρικό επίπεδο, πριν την εξάπλωσή της, και το ξεκίνημα της θεραπείας από αυτό το στάδιο.

Ο νέος αυτός τρόπος εξέτασης ασθενών, βασίζεται στη χρήση των LOC's (Lab-on-a-chip = εργαστήριο-σε-ένα-τσιπ). Τα LOC's αναφέρονται και ως μTAS (μικροσυστήματα συνολικής ανάλυσης. Είναι συσκευές που ενσωματώνουν ποικίλες λειτουργίες σε ένα ενιαίο τσιπ ή μια διαφάνεια, συνήθως μερικών τετραγωνικών εκατοστών ή λιγότερο, και που είναι σε θέση να αναλύουν πολύ μικρούς ρευστούς όγκους σε επίπεδο pico-λίτρου.



Εικ. 3.6.9 Lab-on-a-chip

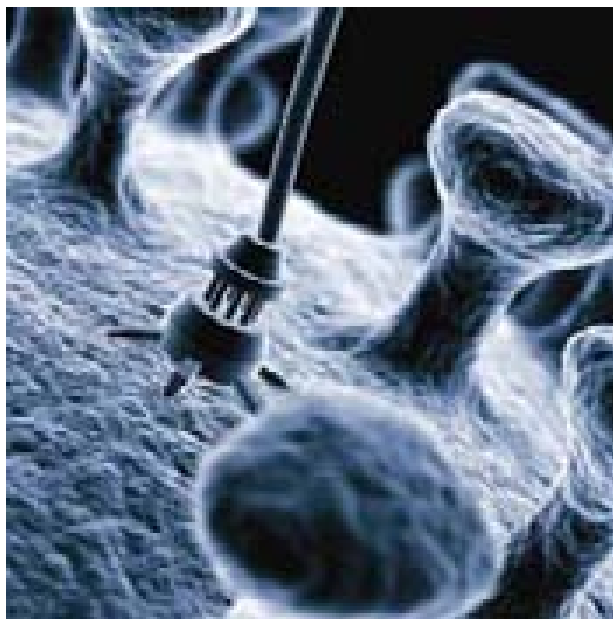
Τα LOC's περιλαμβάνουν μια σύγκλιση εφαρμοσμένης μηχανικής των μικρο, ή στις πιο πρόσφατες εκδόσεις, νάνο-ρευστών, ηλεκτρονική και μικρής κλίμακας επεξεργασία, χρησιμοποιώντας συχνά τεχνικές όπως η φωτολιθογραφία, σε πυρίτιο, γυαλί, πλαστικά, κεραμικά ή μέταλλα. Τα LOC's (περισσότερα για τα LOC's στο Παράρτημα) θα ενσωματώσουν διαδικασίες όπως η εισαγωγή, ο χειρισμός και η προεπεξεργασία δειγμάτων(π.χ. διάλυση, διάλυση κυττάρων, φιλτράρισμα), ο διαχωρισμός (π.χ. με την ηλεκτροφόρηση ή τη χρωματογραφία) και η μέτρηση/ανίχνευση επάνω σε ένα ενιαίο τσιπ με τα σχετικά ηλεκτρονικά ή οπτικά συστήματα. Τα μικρο-ρευστά στοιχεία του τσιπ μπορούν να περιλάβουν τις αντλίες,

ανάμικτες περιοχές, τριχοειδή κανάλια, βαλβίδες, τις θερμάστρες/τα δοχεία ψύξης και, σε μερικές περιπτώσεις, τους μικρογραφημένους βιολογικούς αντιδραστήρες.^[77]

Τα LOC's είναι «πράσινα» και αυτό φαίνεται και από τα πλεονεκτήματά τους που παρατίθενται σε άρθρο^[77] του Richard Moore, διευθυντή του τομέα Νανοιατρικής και Βιολογικών επιστημών στο Institute of Nanotechnology. Τα LOC's λοιπόν μεταξύ άλλων παρουσιάζουν:

- Εξαιρετικά χαμηλή κατανάλωση αντιδραστηρίων και αναλυτών (διάσωση πόρων)
- Γρήγορη θέρμανση και ψύξη (μικρές ενεργειακές απαιτήσεις για μεταβολή θερμοκρασίας)
- Πολύ γρήγοροι χρόνοι ανάλυσης λόγω των πολύ μικρών αποστάσεων που έχουν να διανύσουν οι ουσιών για να διαλυθούν
- Ένας πολύ βελτιωμένος έλεγχος των αναλυτικών παραμέτρων
- Δυνατότητα διεξαγωγής μεγάλου αριθμού παράλληλων αναλύσεων (μικρότερη απαίτηση ποσότητας)
- Μείωση του κόστους παραγωγής, επιτρέποντας τη μαζική παραγωγή τσιπ έτοιμων για χρήση
- Μία ασφαλέστερη πλατφόρμα για τις χημικές, ραδιενεργές ή βιολογικές μελέτες λόγω της ολοκλήρωσης των λειτουργιών, των μικρότερων όγκων ή μαζών των ενδεχομένως επικίνδυνων υλικών και των βιολογικών καταλοίπων, και των χαμηλότερα αποθηκευμένων ενεργειών (μείωση αποβλήτων).

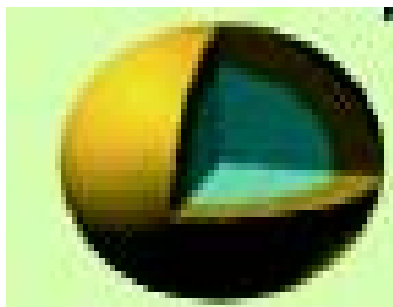
Εκτός όμως από τα LOC's η νανοτεχνολογία έχει επέμβει και διαφορετικά στην ιατρική. Όπως η δυνατότητα κατασκευής εξατομικευμένων φαρμάκων για την περίπτωση κάθε ασθενή, και όχι με τη χρήση των ίδιων φαρμάκων για μεγάλες ομάδες ασθενών με ίδια ασθένεια αλλά διαφοροποιημένα συμπτώματα.^[76]



Εικ. 3.6.10 Χρήση Νανοτεχνολογίας σε ασθενή κύτταρα

Στην απόδοση φαρμάκων η νανοτεχνολογία παρέχει τη δυνατότητα ανάπτυξης συστημάτων που βελτιώνουν τη διαλυτότητα, τη βιολογική διαθεσιμότητα και τη διακίνηση του φαρμάκου μέσα στον ασθενή. Επιτρέπει τη σχεδίαση μηχανισμών στόχευσης των φαρμάκων στους ασθενείς ιστούς και κύτταρα, την αύξηση της ειδίκευσης των φαρμάκων και την ανάπτυξη μηχανισμών απόδοσης σταθερής ποσότητας φαρμάκου.^[76]

Τέλος μη ξεχνάμε και τη χρήση των επιχρυσωμένων γυάλινων νανοχαντρών (nanoshells) που είχαμε αναφερθεί και στο δεύτερο κεφάλαιο, της Νανοτεχνολογίας. Οι χάντρες αυτές με μεγέθη στη νανοκλίμακα, εισάγονται κατ' αρχάς στον ασθενή. Στη συνέχεια πηγαίνουν και προσκολλάνε στα καρκινικά κύτταρα.



Εικ. 3.6.11 Μία επιχρυσωμένη γυάλινη νανοχάντρα (nanoshell)

Στη συνέχεια ακτινοβολείται η περιοχή με ακτινοβολία κατάλληλου μήκους κύματος, κοντά στο υπέρυθρο. Οι χάντρες λόγω του χρυσού κελύφους τους θερμαίνονται τόσο ώστε να καταστρέφεται το καρκινικό κύτταρο στο οποίο έχουν προσκολληθεί.

Η τεχνική αυτή αναπτύσσεται στο πανεπιστήμιο του Τέξας, στο κέντρο ιατρικής επιστήμης, και έχει λειτουργήσει σε πειράματα σε ζώα και αναμένονται τα αποτελέσματα σε ανθρώπινες δοκιμές.^[78]

Είναι γνωστό ότι υπάρχουν μέθοδοι απορρύπανσης της ατμόσφαιρας, αλλά δεν χρησιμοποιούνται ευρέως επειδή κοστίζουν ακριβά. Συγκεκριμένα μία από τις μεθόδους που χρησιμοποιούν είναι αυτή της δέσμευσης ποσοτήτων διοξειδίου του άνθρακα από την ατμόσφαιρα.

Ο αναπληρωτής καθηγητής Χημείας και Βιοχημείας του πανεπιστημίου George Tech των Ηνωμένων Πολιτειών, Christofer Jones, αναφέρει ότι αν αντικαταστήσουμε τα υγρά αμινοξέα, που χρησιμοποιούνται στις μεθόδους απορρύπανσης της ατμόσφαιρας, με το υπερπολύκλωνο πυριτικό αμινοξύ, τη δημιουργία καταλυτών και τον σχεδιασμό καινοτόμων υλικών σε μοριακό επίπεδο με τη χρήση της νανοτεχνολογίας, το κόστος της διαδικασίας απορρύπανσης θα μειωθεί ακόμη και στο 1/3 των σημερινών της τιμών. Αυτό επιτεύχθηκε με την κατασκευή και χρήση ενός υλικού που απορροφά έντονα το διοξείδιο του άνθρακα, και με την ανάπτυξη μιας οικονομικής μεθοδολογίας βιομηχανικής παραγωγής της.^[79]

3.7. Προτάσεις Πράσινης Νανο – Πολιτικής

Οι ακόλουθες πράσινες νανο-προτάσεις νανο-πολιτικής συζητήθηκαν κατά τη διάρκεια του ACS (American Chemical Society)-Green Nano Symposium :

- 1. Αναγνωρίστε τι είναι και τι δεν είναι «πράσινο» στη νανοτεχνολογία.** Η χρήση μίας συνεχιζόμενης προσέγγισης μπορεί να μας βοηθήσει να μη βρεθούμε προ εκπλήξεων.
- 2. Βεβαιωθείτε ότι τα νανοπροϊόντα κατασκευάζονται με πράσινες διαδικασίες.**

3. **Δημιουργήστε μία βάση δεδομένων των σύγχρονων ερευνών στην πράσινη νανοτεχνολογία**, έτσι ώστε να καθορίσετε τα ποσά χρηματοδότησης και να βοηθήσετε τις μελλοντικές ανάγκες του προγράμματος σε πηγές.
4. **Διεξάγετε ανάλυση των ερευνητικών κενών και αναπτύξτε μία στρατηγική για να τα καλύψετε**. Αυτήν η διαδικασία θα περιλαμβάνει πολλούς που είναι πρόθυμοι να πάρουν τα ρίσκα τους, όπως επιστήμονες, νομοθέτες και βιομηχάνους.
5. **Αυξήστε τη χρηματοδότηση των ερευνών των σχετικών με την πράσινη νανοτεχνολογία**, όπως για την πρόληψη μόλυνσης κατά την κατασκευή νανοϋλικών και για νανο-βελτιωτικές πράσινες τεχνολογίες. Θα πρέπει να ξοδεύουμε το ίδιο ποσό τόσο για την αποφυγή των κινδύνων όσο και για τη μελέτη αυτών των στρατηγικών. Ένα αποτελεσματικό αρχικό ποσό για μία στοχευμένη ομοσπονδιακή έρευνα στην πράσινη νανοτεχνολογία θα ήταν 50 εκατομμύρια δολάρια το χρόνο.
6. **Δημιουργήστε ένα πρόγραμμα «Απονομής Βραβείων Πράσινης Νανοτεχνολογίας»**. Η EPA U.S. Environmental Protection Agency ή κάποια άλλη αξιόπιστη οργάνωση θα μπορούσε να προτείνει εκείνες τις εταιρείες που αναπτύσσουν και υιοθετούν φιλικές προς το περιβάλλον διαδικασίες στην κατασκευή νανοϋλικών και προϊόντων.
7. **Ταυτοποιήστε χρήσιμα υποκατάστατα και σημεία αναφοράς** κατά την εκτίμηση του αν και κατά πόσο είναι πράσινα τα εξεταζόμενα νανοπροϊόντα.
8. **Χρησιμοποιείστε κρατικές παροχές, όπως κλίνες δοκιμής για να αξιολογήσετε νέες νανο-βελτιωτικές πράσινες τεχνολογίες**.
9. **Χρησιμοποιείστε κρατικούς φορείς για να αυξήσετε τη ζήτηση για αποτελεσματικά πράσινα νανοπροϊόντα**. Σε μία τέτοια προσπάθεια παράγοντες – κλειδιά θεωρούνται το Υπουργείο Άμυνας, η General Services Administration (Ομοσπονδιακή Υπηρεσία των ΗΠΑ) και το Ταχυδρομείο.
10. **Παραθέστε μία ανάλυση για το κατά πόσο πέτυχαν ή απέτυχαν οι προσπάθειες της κυβέρνησης να προωθήσουν την πράσινη τεχνολογία στο παρελθόν και εφαρμόστε τα συμπεράσματά σας στην πράσινη νανοτεχνολογία**.
11. **Υποστηρίξτε αποτελεσματικές ερευνητικές μεθοδολογίες που θα αυξήσουν την περιορισμένη χρηματοδότηση**.

12. Υποστηρίξτε τις συνεργασίες έρευνας – βιομηχανίας που θα ερευνούν τρόπους να χρησιμοποιηθεί η πράσινη τεχνολογία στη δόμηση μίας νέας και πιο σταθερής οικονομίας.
13. Προσαρμόστε τη μελλοντική πράσινη νομοθεσία περί χημείας με τον 21st Century Nanotechnology Research and Development Act of 2003 (Νόμος 2003 περί Έρευνας και Ανάπτυξης στη Νανοτεχνολογία του 21^{ου} αιώνα) [17].



Η καθηγήτρια Kei Saito, ερευνήτρια στο πανεπιστήμιο Μασαχουσέτης προετοιμάζει ένα διάλυμα από πολυμερές νανουλικό [17]

3.8. Μπορεί η νανοτεχνολογία να είναι πράσινη;

Η πράσινη νανοτεχνολογία αποτελεί ένα καινούργιο επιστημονικό πεδίο μια καινούργια επιστήμη, ένα καινούργιο εργαλείο στα χέρια των ερευνητών. Ο αριθμός των νανοπροϊόντων συνεχώς αυξάνεται και κατακλύζει την αγορά, υπάρχουν όμως και κάποια ζητήματα όπως οι πιθανές επιπτώσεις της νανοτεχνολογίας στο περιβάλλον, την ανθρώπινη υγεία και την ασφάλεια τα οποία δεν έχουν εξεταστεί ακόμη σε βάθος. Εν δυνάμει όλες οι εφαρμογές της νανοτεχνολογίας μπορεί να είναι πράσινες κάτω από

συγκεκριμένες συνθήκες, στην έρευνα όμως πάντα εμφανίζονται αστάθμητοι παράγοντες που μπορεί να προκαλέσουν ανατροπές....

Η Vicki Colvin, καθηγήτρια Χημείας και Χημικής Μηχανικής στο Rice University στο Houston, επισημαίνει ότι η νανοτεχνολογία μπορεί να γίνει πράσινη, αν ακολουθηθεί μια προσέγγιση, γνωστή ως "safety by design" (ασφάλεια από τον σχεδιασμό).

Σύμφωνα με αυτήν την προσέγγιση πρέπει να γίνεται εκ των προτέρων έλεγχος των νανουλικών για τοξικότητα, καθαρότητα ώστε να μην αποδειχθούν αργότερα επικίνδυνα. Η καθηγήτρια υποστηρίζει ότι πρέπει να δημιουργηθούν ηλεκτρονικές βιβλιοθήκες για να καταγράφονται οι ιδιότητες των νανομορίων ώστε να μπορούν να μελετηθούν ανά πάσα στιγμή.

Ένα άλλο ερώτημα που προκύπτει σύμφωνα με την Vicky Colvin, βασίζεται στο γεγονός ότι όσο ελαττώνουμε το μέγεθος των νανομορίων αυτά αποκτούν ξεχωριστές και μοναδικές ιδιότητες. Πώς μπορούμε κάθε φορά να γνωρίζουμε το βαθμό μείωσης του μεγέθους των νανομορίων και τις ιδιότητες που αυτά θα αποκτήσουν; Με λίγα λόγια πότε το μέγεθος αποτελεί φραγμό και σε ποιο βαθμό; Επίσης δεν έχει μελετηθεί εκτενώς κατά πόσο είναι επικίνδυνη για τον άνθρωπο η έκθεση σε νανουλικά δια μέσω της αναπνοής και της διαδερμικής επαφής.

Μάλλον είναι βάσιμος ο φόβος ότι τα νανοσωματίδια ενδέχεται να έχουν ανεπιθύμητες επιδράσεις στον άνθρωπο και στο περιβάλλον. Θα μπορούσαν π.χ. να έχουν βλαβερές συνέπειες για την υγεία, εξαιτίας του πολύ μικρού μεγέθους τους που τους επιτρέπει να διεισδύουν σε κύτταρα του σώματος και να υπερνικούν ακόμη και βιολογικούς φραγμούς: όπως ο αιματοεγκεφαλικός φραγμός (σ.σ: δημιουργείται από τα ενδοθηλιακά κύτταρα των τριχοειδών αγγείων του κεντρικού Νευρικού Συστήματος, με στόχο την προστασία του εγκεφάλου από τοξικές για αυτόν ουσίες) επισημαίνεται σε ειδικό φυλλάδιο της Ευρωπαϊκής Επιτροπής που δημοσιεύτηκε το 2007.

Επειδή τα νανοσωματίδια-όπως και άλλες ουσίες που βρίσκονται σε μορφή πολύ μικρών σωματιδίων όπως η αιθάλη στα καυσαέρια των αυτοκινήτων-μπορεί να προκαλέσουν άγνωστες παρενέργειες η επιστημονική κοινότητα πρέπει κατ' αρχήν να εξακριβώσει αν είναι ακίνδυνα: «Οι υπάρχουσες γνώσεις για την ασφάλεια των νανοσωματιδίων είναι ελάχιστες, για αυτό τον λόγο οι ερευνητές του κλάδου της νανοτεχνολογίας και οι τοξικολόγοι πρέπει να απαντήσουν στα καίρια αυτά ερωτήματα

το συντομότερο δυνατόν, με τα κατάλληλα πειράματα». Οι επιστήμονες συμπληρώνουν πάντως στην έκθεσή τους ότι ο ενδεχόμενος κίνδυνος για την υγεία φαίνεται πως μπορεί να τεθεί υπό έλεγχο, δεδομένου ότι τα νανοσωματίδια σχηματίζουν πολύ γρήγορα μεγάλα συσσωματώματα, τα οποία εκτιμάται ότι δεν δημιουργούν προβλήματα στον οργανισμό [28].

Οι φωνές προβληματισμού όμως είναι πολύ περισσότερες. Αρκετοί ειδικοί αναφέρουν ότι ορισμένα νανοσωματίδια όταν εισπνευσθούν μπορεί να επιφέρουν δράση παρόμοια με αυτή του αμιάντου (το φθινό υλικό που αποτέλεσε τη βάση για την κατασκευή πολλών μεταπολεμικών κτιρίων και τελικά διαπιστώθηκε ότι μπορεί να προκαλέσει θανατηφόρα προβλήματα στους πνεύμονες), διεισδύοντας στο αναπνευστικό σύστημα.

Συγχρόνως, πρόσφατη έκθεση της Βασιλικής Εταιρείας της Βρετανίας και της Βασιλικής Ακαδημίας Μηχανικής που διενεργήθηκε για λογαριασμό της βρετανικής κυβέρνησης επισημαίνει το γεγονός ότι «τα νανοσωματίδια μπορούν να συμπεριφερθούν διαφορετικά από ό,τι τα σωματίδια μεγαλύτερου μεγέθους του ίδιου υλικού και αυτό το γεγονός μπορεί να αποτελέσει σημαντικό όπλο» στα χέρια των επιστημόνων για την πρόοδο της έρευνας. Ωστόσο είναι ζωτικής σημασίας να προσδιορίσουμε τόσο τις θετικές όσο και τις αρνητικές επιδράσεις που μπορεί να ασκούν αυτά τα σωματίδια». Μάλιστα εξαιτίας των νέων χημικών ιδιοτήτων που λαμβάνουν τα νανοσωματίδια πρέπει να ελέγχονται, να ερευνώνται και να αντιμετωπίζονται ως νέα χημικά στο πλαίσιο της ΕΕ, με στόχο να διεξαχθούν τα κατάλληλα τεστ που θα αποδείξουν αν είναι ασφαλή. «Υπάρχει κενό στους ισχύοντες κανονισμούς σε ό,τι αφορά τα νανοσωματίδια. Ενώ εμφανίζουν διαφορετικές ιδιότητες σε σύγκριση με το υλικό από το οποίο προέρχονται, η παραγωγή τους δεν συνδέεται με επιπλέον έλεγχοι. Είναι σημαντικό οι κανονισμοί να καταστούν πιο αυστηροί, ώστε τα νανοσωματίδια να υποβάλλονται στον κατάλληλο έλεγχο, τόσο σε ό,τι αφορά τη διερεύνηση των ιδιοτήτων τους όσο και τη σήμανσή τους».

Ας μην ξεχνάμε επίσης ότι η χρήση της πράσινης νανοτεχνολογίας στην παραγωγική διαδικασία για την κατασκευή νανοπροϊόντων δεν παύει να απαιτεί νερό ενέργεια, χημικά και ακατέργαστα υλικά. Επίσης είναι δυνατό σε ορισμένες περιπτώσεις η παραγωγή να παρουσιάσει πιο αργούς ρυθμούς

Παράλληλα αναφέρεται και ένα άλλο σημαντικό θέμα που σχετίζεται με την ηθική και την βιοηθική.

Τον κώδωνα του κινδύνου χτύπησαν με άρθρο τους τα μέλη του Joint Centre for Bioethics (JCB) του Πανεπιστημίου του Τορόντο. Το άρθρο με τίτλο «Ασχοληθείτε με το χάσμα: Επιστήμη και ηθική στη νανοτεχνολογία» δημοσιεύτηκε στη βρετανική επιθεώρηση «Νανοτεχνολογία» και προκαλεί ήδη πολλές συζητήσεις. Ανάμεσα στα προβλήματα που έθεσαν οι συγγραφείς του άρθρου αναφέρονται:

- Η ευθυδικία: Ποιοι θα ελέγχουν και ποιοι θα επωφεληθούν από τη νανοτεχνολογία; Μόνο οι πλούσιοι και οι ισχυροί ή και οι φτωχοί αυτού του κόσμου;

- Ιδιωτικότητα και ασφάλεια: Πού και πώς θα χρησιμοποιούνται τα μικροσκοπικά, σχεδόν αόρατα μικρόφωνα, οι κάμερες και οι συσκευές εντοπισμού που θα κατασκευαστούν σύντομα; Ποιος θα μπορεί να τα χρησιμοποιεί και πώς θα τα χρησιμοποιεί; Πώς θα ελέγχεται η χρήση τους;

- Ποιες θα είναι οι επιπτώσεις στο περιβάλλον από την κατασκευή και τη χρήση των νανομηχανών;

«Υπάρχει σοβαρός κίνδυνος να παρατηρηθεί εκτροχιασμός της νανοτεχνολογίας αν δεν υπάρξει σοβαρή μελέτη και έρευνα για τους ηθικούς, περιβαλλοντικούς, οικονομικούς, κοινωνικούς και όποιους άλλους κινδύνους πιθανώς προκύψουν. Η μελέτη αυτή θα πρέπει φυσικά να συμβαδίζει με την ταχύτητα με την οποία τρέχει η επιστημονική πρόοδος» δηλώνουν τα μέλη του JCB (Joint Centre for Bioethics), που θυμίζουν το παράδειγμα με τα γενετικά μεταλλαγμένα τρόφιμα και προϊόντα, που πρώτα έφθασαν στην αγορά και μετά αντιληφθήκαμε τα προβλήματα και τους κινδύνους που κουβαλούν και άρχισαν να οργανώνονται κάποιοι αμυντικοί μηχανισμοί. «Η νανοτεχνολογία θα προκαλέσει μια μεγάλη επανάσταση που θα έχει μεγάλες επιπτώσεις στην κοινωνία. Τεχνολογία που υπόσχεται τόσο μεγάλες και δραματικές αλλαγές στη ζωή μας θα πρέπει εκ προοιμίου να αντιμετωπίζεται με υποψία, αν όχι με φόβο» δήλωσε σε συνέντευξη του στο BBCO ο καθηγητής Πίτερ Σίνγκερ, εκ των συγγραφέων του «Η επιστήμη τρέχει με μεγάλη ταχύτητα ενώ η ηθική το αντίθετο.

Ταυτόχρονα οι πολίτες βρίσκονται πολύ μακριά από όλα αυτά. Το πρώτο βήμα λοιπόν είναι να υπάρξει πλήρης και αναλυτική ενημέρωση του κόσμου. Αυτό θα βοηθήσει ώστε να μπορέσουν όλοι να αντιληφθούν τα οφέλη και τους κινδύνους από τη χρήση της νανοτεχνολογίας και στη συνέχεια να συμφωνήσουν στην κατάστρωση ενός

αποδεκτού από όλους πλαισίου για τη χρήση της. Το πρώτο πάντως που πρέπει να γίνει είναι να διασφαλιστεί ότι η ναυτεχνολογία θα βοηθήσει στο κλείσιμο της ψαλίδας ανάμεσα στις φτωχές και στις προηγμένες χώρες του πλανήτη.

Δεν επιθυμούμε να διακόψουμε τη δυναμική και την πρόοδο της επιστήμης, απλώς να καταφέρουμε να τοποθετήσουμε παράλληλα με την επιστήμη και την ηθική διάσταση που πρέπει να διέπει κάθε επιστημονική εξέλιξη» ανέφερε ο Σίνγκερ [47,48,49,50,51,52,57,58,59,60].

3.9. Συμπεράσματα

Η νανοτεχνολογία έχει έρθει για να αλλάξει τη ζωή μας. Η αλματώδης ανάπτυξή της εκπλήσσει ακόμη και τους ίδιους τους επιστήμονες. Έχει λεχθεί ότι η νανοτεχνολογία είναι η επόμενη επανάσταση μετά τη βιομηχανική. Η γρήγορη ταχύτητα με την οποία τρέχει η επιστήμη όμως, δεν ακολουθείτε και από ταυτόχρονη εξέλιξη της ηθικής. Έτσι μεγάλα ηθικά και άλλα προβλήματα ανακύπτουν από τις ανησυχίες για τον τρόπο εφαρμογής της στην κοινωνία. Κανένας δεν θέλει να σταματήσει η έρευνα, αλλά μαζί με αυτήν θα πρέπει να αναπτύσσουμε και το πνεύμα μας.

Η πράσινη νανοτεχνολογία είναι ένα πολυδιάστατο και πολυεπιστημονικό εργαλείο καθώς προκύπτει από το συνδυασμό της Πράσινης Χημείας, της Πράσινης Μηχανικής και της Νανοτεχνολογίας. Συνεπάγεται λοιπόν πως για την ορθή εφαρμογή αυτής της καινούργιας επιστήμης, είναι απαραίτητη η σωστή συνεργασία των επιστημόνων των διαφόρων κλάδων. Οι μελετητές-ερευνητές θα πρέπει να ενεργούν συλλογικά και με γνώμονα το κοινό όφελος και όχι το προσωπικό συμφέρον.

Εφόσον πρόκειται για καινούργιο επιστημονικό πεδίο, πρέπει να διεξάγονται συνεχώς εξονυχιστικοί έλεγχοι για τις πιθανές επιπτώσεις που μπορεί να επιφέρει στον άνθρωπο και στο περιβάλλον η εφαρμογή αυτών των καινούργιων τεχνολογιών. Στην έρευνα είναι πολύ πιθανό να εμφανιστούν αστάθμητοι παράγοντες και να επιφέρουν ανεπιθύμητα αποτελέσματα.

Δεν πρέπει να ξεχνάμε ότι η χρήση της πράσινης νανοτεχνολογίας στην παραγωγική διαδικασία δεν παύει να απαιτεί νερό, ενέργεια, χημικά και ακατέργαστα υλικά. Πρέπει λοιπόν πάντα να γίνεται αξιολόγηση και σύγκριση των πλεονεκτημάτων-μειονεκτημάτων που έχει η εφαρμογή των αρχών της πράσινης νανοτεχνολογίας στην παραγωγική διαδικασία σε σύγκριση με την διαδικασία παραγωγής που εφαρμοζόταν πριν.

Δεδομένου ότι η νανοτεχνολογία βρίσκεται ακόμη στα πρώιμα στάδιά της και η υποδομή της βρίσκεται ακόμη υπό κατασκευή, οι δυνατότητες να δημιουργηθούν μέτρα πρόληψης της μόλυνσης είναι πολλές καθώς στόχος θα αποτελεί πλέον να «πρασινίσουν» όλες οι διαδικασίες από την αρχή (safety by design) και όχι να γίνει

προσπάθεια να «πρασινίσουν» οι ήδη υπάρχουσες τεχνολογίες. Η δομική μονάδα τώρα είναι το nano και είναι εύκολο να επέμβουν οι επιστήμονες σε αυτό από την αρχή.

Οι κίνδυνοι που ελοχέουν από ένα τέτοιο τεχνολογικό επίτευγμα δεν αφορούν μόνο τον άνθρωπο, την ποιότητα ζωής του, το περιβάλλον και τον πλανήτη. Αναφύονται και άλλα θέματα που σχετίζονται με την ηθική και την βιοηθική. Ένας πιθανός εκτροχιασμός της νανοτεχνολογίας θα την καταστήσει εργαλείο στα χέρια των ισχυρών και των πλουσίων, ενάντια των φτωχότερων τάξεων. Για την αποφυγή τέτοιων σεναρίων πρέπει να θεσπιστούν από την πολιτεία νόμοι που να προστατεύουν τους πολίτες.

Οι πολίτες πρέπει συνεχώς να ενημερώνονται για τις νέες εξελίξεις ώστε να μπορούν να εκφράζουν τη γνώμη τους σε κάθε ζήτημα που θα προκύπτει άλλα κοινά υιοθετούν συμπεριφορές κατάλληλο ώστε να προάγουν το κοινό συμφέρον και όφελος. Η ενημέρωση των πολιτών μπορεί να αρχίσει και να ενταχθεί ακόμη και στα σχολικά προγράμματα.

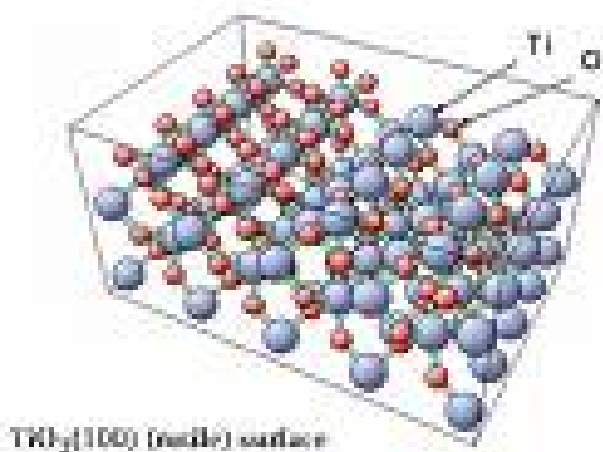
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

ΑΚΡΩΝΥΜΙΑ ΠΟΥ ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΗΘΗΚΑΝ ΣΕ ΑΥΤΗ ΤΗΝ ΕΡΓΑΣΙΑ

ACS	American Chemical Society
CEO	Chief Executive Officer
DRAM	Dynamic Random Access memory
ECA	Electrically Conductive Adhesive
EPA	U.S. Environmental Protection Agency
LCA	Life Cycle Assessment
MSN	Mesoporous Silica Nanoparticle
NSF	National Science Foundation
Ppb	parts per billion
PRINT	Particle Replication IN Non-wetting Templates
SCR	Selective Catalytic Reduction
SEM	Scanning Electron Microscope
SRAM	Static Random Access Memory
SRC	Semiconductor Research Corporation
TEM	Transmission Electron Microscope
UV	Ultraviolet
LCA	Life Cycle Assessment

Φωτοκατάλυση: Ως φωτοκατάλυση ορίζεται η επιτάχυνση από την παρουσία ενός καταλύτη. Ένας καταλύτης δεν αλλάζει και δεν καταναλώνεται σε μία αντίδραση. Αυτός ο καθορισμός περιλαμβάνει τη φωτοευαισθητοποίηση, μια διαδικασία από την οποία μία φωτοχημική αλλαγή εμφανίζεται σε μία μοριακή οντότητα ως αποτέλεσμα της αρχικής απορρόφησης ακτινοβολίας από μία άλλη μοριακή οντότητα αποκαλούμενη φωτοευαισθητοποιημένη. Η χλωροφύλλη στα φυτά είναι ένας τύπος φωτοκαταλύτη που πραγματοποιεί την φωτοκαταλυτική διαδικασία της φωτοσύνθεσης. Φωτοκατάλυση είναι όταν η χλωροφύλλη συλλαμβάνει το φως του ήλιου για να μετατρέψει το ύδωρ και το διοξείδιο του άνθρακα σε οξυγόνο και γλυκόζη. Η φωτοκατάλυση είναι η δημιουργία ενός ισχυρού παράγοντα οξείδωσης στην διάλυση οποιασδήποτε οργανικής ουσίας σε διοξείδιο του άνθρακα και νερό παρουσία φωτοκαταλύτη, φωτός και νερού.

TiO₂ (διοξείδιο του πυριτίου): Το διοξείδιο του πυριτίου είναι δημοφιλές στη βιομηχανία εδώ και αρκετά χρόνια. Είναι ένα φυσικό ορυκτό, ασφαλές για ανθρώπινη χρήση. Το FDA το ενέκρινε ως πρόσθετη χρωστική ουσία τροφίμων το 1966 με τον όρο η πρόσθετη ουσία να μην υπερβαίνει το 1% κατά βάρος.



Εικόνα 1: Η δομή του TiO₂

Τα νανοσωματίδια διοξειδίου του τιτανίου έχουν φωτοκαταλυτική ισχύ όταν εκτίθενται στο φως. Αυτή η ανακάλυψη έγινε από Γιαπωνέζους επιστήμονες στα τέλη του 90 και από τότε η τεχνολογία φωτοκαταλυτών έχει αποδειχθεί εμπορικά αξιοποιήσιμη.

καθιστώντας την τέλεια για την ανάπτυξη των προηγμένων αυτοκαθαριζόμενων επιστρωμάτων.



Εικόνα 2: Οι φωτοκαταλυτικές ιδιότητες του TiO₂

LOC's: Άρθρο από μετάφραση του Richard Moore, διευθυντή του τομέα Νανοιατρικής και Βιολογικών επιστημών στο Institute of Nanotechnology.

Η ακραία πυκνότητα των σχεδίων LOC θα μπορούσε να έχει μια προστιθέμενη σημασία στην ανάπτυξη ιδιαίτερα των φορητών συστημάτων που θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν σε μερικά μέρη του αναπτυσσόμενου κόσμου που έχουν μια υψηλή επικράτηση των ασθενειών αλλά της πολύ περιορισμένης πρόσβασης στα σύγχρονα, αξιόπιστα εργαλεία δοκιμής.

Η προσέγγιση του εργαστηρίου-σε-ένα-τσιπ εφαρμόζεται αυτήν την περίοδο σε ένα ευρύ φάσμα ιατρικών χρήσεων συμπεριλαμβανομένων:

- Τη μέτρηση ενός ευρέως φάσματος βιομορίων στο αίμα και άλλα σωματικά ρευστά
- Την αναγνώριση αντιγόνων
- Την ανίχνευση βακτηριδίων, ιών και καρκίνων
- Δοκιμή DNA

Μερικές νέες προσεγγίσεις εργαστήριο-σε-ένα-τσιπ που ενσωματώνουν τη νανοτεχνολογία

Κατά τη διάρκεια των δεκαετιών του '80 και του '90, οι εξελίξεις στα μικρο-ρευστά και τεχνικές όπως η φωτολιθογραφία, που οδηγήθηκε επίσης από τις πρωτοβουλίες όπως το πρόγραμμα για το ανθρώπινο γονιδίωμα και η αναδυόμενη ανάγκη για τα συστήματα έγκαιρης ανίχνευσης κινδύνων όπως είναι οι χημικοί και βιολογικοί συγκρουόμενοι παράγοντες, οδήγησαν στα χαρακτηριστικά γνωρίσματα που αναπτύσσονται σε μικρότερες και μικρότερες κλίμακες στις εφαρμογές εργαστήριο-σε-ένα-τσιπ. Παράλληλα με άλλες εξελίξεις, π.χ. το σχεδιασμό τσιπς υπολογιστών, η νανοτεχνολογία πλέον εφαρμόζεται και στα LOC's εμφανίζοντας νέες λειτουργίες λόγω των ασυνήθιστων χαρακτηριστικών των υλικών στην νάνο-κλίμακα. Αυτές οι εξελίξεις περιλαμβάνουν:

- νανοπόρους π.χ. διαμέτρου 1-2nm, για την ηλεκτροφορητική τοποθέτηση του DNA
- nanopores, π.χ. της διαμέτρου 1-2 NM, για το ηλεκτροφορητικό DNA τοποθετώντας διαδοχικά
- άλλα χαρακτηριστικά γνωρίσματα επιφανειών ή ικριωμάτων στην νανοκλίμακα, π.χ. στη διευκόλυνση της συμπεριφοράς των ρευστών ή για να προωθήσουν την προσκόλληση ακινητοποίησης και την ανάπτυξη των κυττάρων στα ενσωματωμένα μικροβιοαντιδραστήρια (μ-βιολογικοί αντιδραστήρες) ή τις σειρές κυττάρων σε ένα "τσιπ κυττάρων" για τις πρωτεϊνικές μελέτες και τις μελέτες ιονικός-καναλιών κύτταρο-μεμβρανών.
- υπέρ-υδροφοβικές επιφάνειες, π.χ. για να διευκολύνει τη μετακίνηση, το χωρισμό και τη μίξη των μικροσκοπικών υδάτινων σταγονιδίων και των δειγμάτων, π.χ. με τη χρησιμοποίηση "μαγνητο-ρευστών"
- ενεργοποιητές νανοκλίμακας, π.χ. για τις βαλβίδες, τη μίξη ή τους διακόπτες
- νανοκαλώδια, π.χ. πυρίτιο ή πολυμερή, και βιοαισθητήρες βασισμένοι σε νανοσωλήνες άνθρακα

- άλλες νέες τεχνολογίες βιοαισθητήρων, π.χ. εκείνοι που είναι βασισμένοι σε πρωτεϊνική νανοεκτύπωση και νανομοτίβο, την άμεση συγγένεια που αισθάνονται, την αίσθηση της ανακλώμενης ακτίνας, επιφάνεια πλασμιδίων αντίληψης και αντίληψη ιονικών-καναλιών
- μικρο- ή νάνο-ρευστά συστήματα που μπορούν να διαμορφώσουν μερικές από τις φυσιολογικές καταστάσεις ή τονίζουν ότι τα κύτταρα υποβάλλονται σε πείραμα σε ζώντα οργανισμό, ή που μπορούν να διευκολύνουν τις αλληλεπιδράσεις κυττάρου-κύτταρο
- νέα συστήματα ανίχνευσης βασισμένα στους αισθητήρες πεδίο-αποτελέσματος, την ηλεκτρική αγωγιμότητα, την ηλεκτροχημεία, τα μαγνητικά πεδία, την οπτική παραγωγή (π.χ. φθορισμός, κβαντικές τελείες) ή τα ακουστικά σήματα, π.χ. χρησιμοποιώντας πιεζοηλεκτρισμό

Ενώ υπάρχει πολλή πρόοδος στην ανάπτυξη μικρότερων, πιο ιδιαίτερα ενσωματωμένα και αποδοτικότερα συστήματα LOC, υπάρχουν ακόμα πολλές προκλήσεις να υπερνικηθούν. Καθώς κάποιος πλησιάζει τη νανοκλίμακα, τα φυσικά και χημικά αποτελέσματα αλλάζουν, και γίνονται πιο σύνθετα. Μερικά χαρακτηριστικά γνωρίσματα δεν μπορούν ακόμα να μειωθούν υπό κλίμακα και υπάρχουν όρια μεγέθους κάτω από τα οποία τα κύτταρα δεν μπορούν να αλληλεπιδράσουν αποτελεσματικά που σημαίνει τα νέα συστήματα που μπορούν να διαμορφώσουν, παραδείγματος χάριν, τις μεταβολικές διαδικασίες στα μιτοχόνδρια ή άλλα υπομοριακά οργανίδια.

Η μελλοντική εξέλιξη της τεχνολογίας εργαστήριο-σε-ένα-τσιπ

- Η περαιτέρω ανάπτυξη της τεχνολογίας LOC φέρνει πιο κοντά τη δυνατότητα τα ανάπτυξης συστημάτων που μπορούν να εμφυτευτούν στο σώμα και που μπορούν να επιλέξουν και να μετρήσουν τις φυσιολογικές και μεταβολικές παραμέτρους σε ζώντα οργανισμό στον πραγματικό χρόνο,

επιτρέποντας στους γιατρούς να ελέγχουν συνεχώς τους ασθενείς και να ακολουθήσουν την εξέλιξη των ασθενειών και των καταστάσεων, ενδεχομένως με την άμεση ανατροφοδότηση στα συστήματα παροχής φαρμάκων ή άλλες εμφυτευμένες συσκευές.

- Ένας περαιτέρω στόχος είναι η ανάπτυξη των συστημάτων που είναι όλο και περισσότερο απλά να χρησιμοποιηθούν χωρίς ειδική κατάρτιση και που μπορούν να πραγματοποιήσουν ποικίλες ακριβείς αναλύσεις πολύ γρήγορα χρησιμοποιώντας μικροσκοπικά δείγματα, π.χ. στις καταστάσεις έκτακτης ανάγκης ή τομέων, ή στο σπίτι, π.χ. "έξυπνες" και πιο φιλικές προς τον ασθενή συσκευές ελέγχου διαβήτη. Άλλα ενσωματωμένα συστήματα ικανά να ελέγχουν τους σημαντικούς βιομοριακούς δείκτες, τα μεμονωμένα βακτηρίδια ή τα προερχόμενα από ιό μόρια, είναι επίσης υπό ανάπτυξη
- Η ανάπτυξη των συστημάτων LOC που θα βασίζεται σε ανθρώπινα κύτταρα, ενδεχομένως τα κύτταρα των ασθενών, υπόσχονται να συμβάλουν στην ανάπτυξη εναλλακτικών μεθόδων, πιο φθηνών και πιο αποδοτικών ώστε να εξαλειφθούν οι δοκιμές τοξικότητας σε ζώα για διάφορα φαρμακευτικά προϊόντα και προϊόντα καλλωπισμού.

Νόμπελ στην «Πράσινη» Χημεία

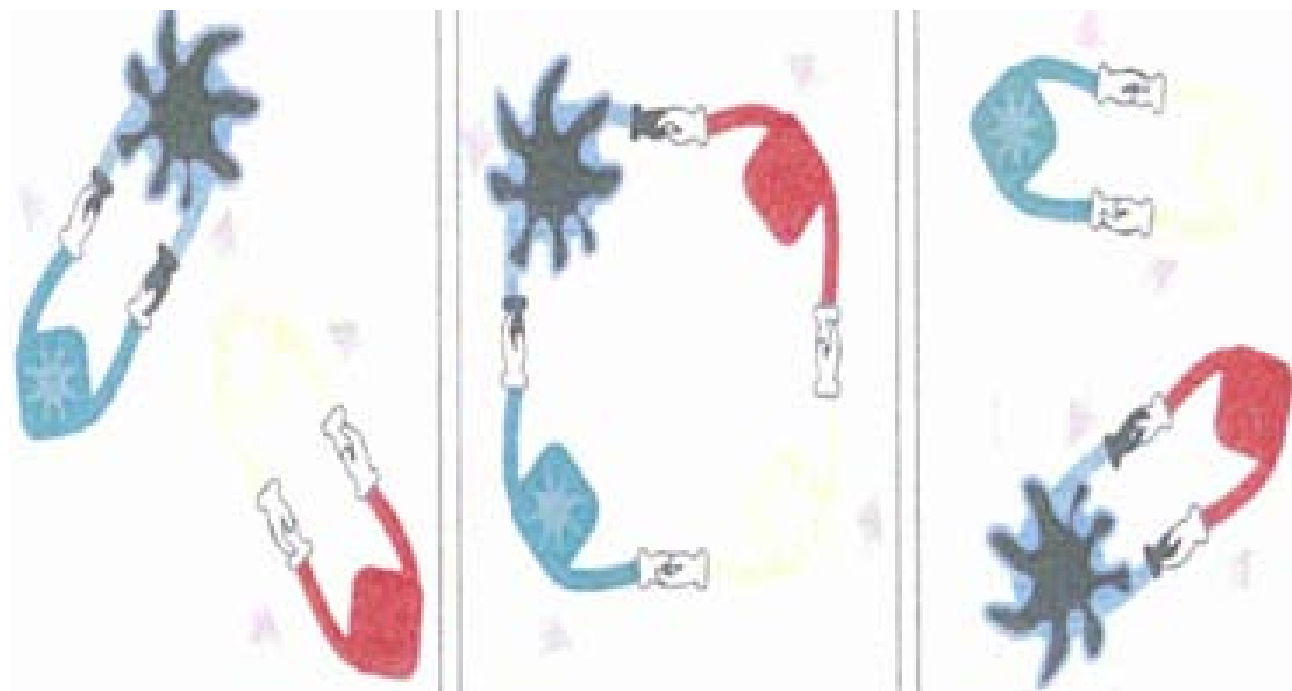
Το Νόμπελ Χημείας 2005 απονέμεται στον Γάλλο Ιβ Σοβέν και τους αμερικανούς Ρόμπερτ Γκραμπς και Ρίτσαρντ Σροκ για την εργασία τους στη βελτίωση της μετάθεσης, μιας διαδικασίας που δίνει τη δυνατότητα δημιουργίας νέων μορίων για χρήση στη φαρμακευτική βιομηχανία και την παραγωγή χημικών και πλαστικών υλών με φιλικό προς το περιβάλλον τρόπο.

Το βραβείο και το χρηματικό έπαθλο που το συνοδεύει (περίπου 1,4 εκατομμύρια δολάρια) θα απονεμηθούν από κοινού στον Ιβ Σοβέν του Γαλλικού Ινστιτούτου Πετρελαίου, 74 ετών, τον Ρόμπερτ Γκραμπς του Τεχνολογικού Ινστιτούτου της Καλιφόρνια, 63 ετών, και τον Ρίτσαρντ Σροκ του Τεχνολογικού Ινστιτούτου της Μασαχουσέτης, 60 ετών.

Όπως ανακοίνωσε η Σουηδική Βασιλική Ακαδημία Επιστημών που απονέμει το βραβείο, η εφαρμογή της μεθόδου στη χημική βιομηχανία μείωσε το κόστος και τη ρύπανση και επιπλέον οδήγησε στη δημιουργία νέων μορίων για χρήση στην παραγωγή φαρμακευτικών ειδών και τη βιομηχανία προηγμένων πλαστικών.

Στην ανακοίνωση τονίζεται ότι οι βραβευθέντες έκαναν ένα σημαντικό βήμα προς την «πράσινη χημεία», που έχει λιγότερο επιβλαβείς επιδράσεις στο περιβάλλον. Κι ακόμη, ότι με την εργασία τους έκαναν τις διαδικασίες των πολυσυνθετικών ενώσεων άνθρακα απλούστερες, αποδοτικότερες και πιο «πράσινες».

Το 1971, ο Δρ. Σοβέν ήταν ο πρώτος που περιέγραψε με λεπτομέρεια πώς συμβαίνουν οι αντιδράσεις μετάθεσης, δηλαδή οι αντιδράσεις κατά τις οποίες δημιουργούνται ή διασπώνται διπλοί δεσμοί μεταξύ των ατόμων άνθρακα από τα οποία αποτελούνται όλες οι οργανικές ενώσεις. Η διαδικασία έχει παρομοιαστεί με ζεύγη που αλλάζουν τους παρτενέρ τους κατά τη διάρκεια ενός χορού.



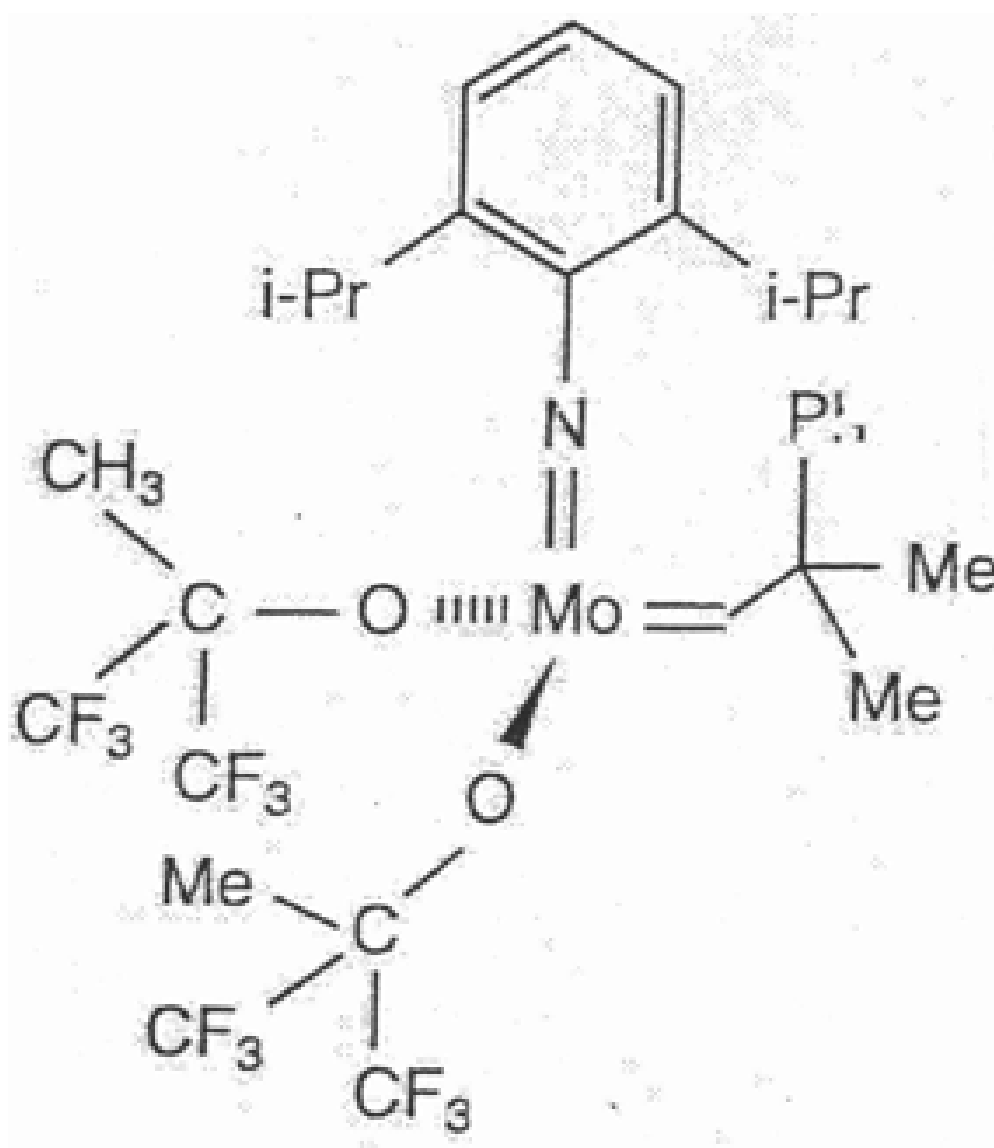
[53,54,56]

Μετά την ανακάλυψη του μηχανισμού της αντίδρασης, ακολούθησε, το 1990, η δημιουργία του πρώτου καταλύτη που βασίστηκε στο μέταλλο μολυβδένιο (Mo) από τον Ρίτσαρντ Σροκ. Δυο χρόνια αργότερα ο Ρόμπερτ Γκραμπς ανέπτυξε έναν ταχύτερο καταλύτη, βασισμένο σε ένα άλλο μέταλλο, το ρουθίνιο (Ru), που ήταν σταθερό στον ατμοσφαιρικό αέρα και βρήκε πολλές εφαρμογές στην επιστήμη και στη βιομηχανία[53,54,55,56].

Οι καταλύτες του Schrock

Ο Schrock άρχισε την έρευνά του μελετώντας υποψήφιους καταλύτες από μέταλλα όπως ταντάλιο Ta, βολφράμιο W και μολυβδένιο Mo. Σύμφωνα με τις μελέτες του τα μέταλλα Mo και W ήταν τα πιο κατάλληλα.

Μειονέκτημα: Οι καταλύτες από Mo ήταν ευαίσθητοι στο οξυγόνο, στην υγρασία και παρουσίαζαν μικρή εκλεκτικότητα, γι' αυτό ήταν αναγκαίο να λαμβάνονται ιδιαίτερα μέτρα κατά τη διάρκεια της αντίδρασης [53,55,56].

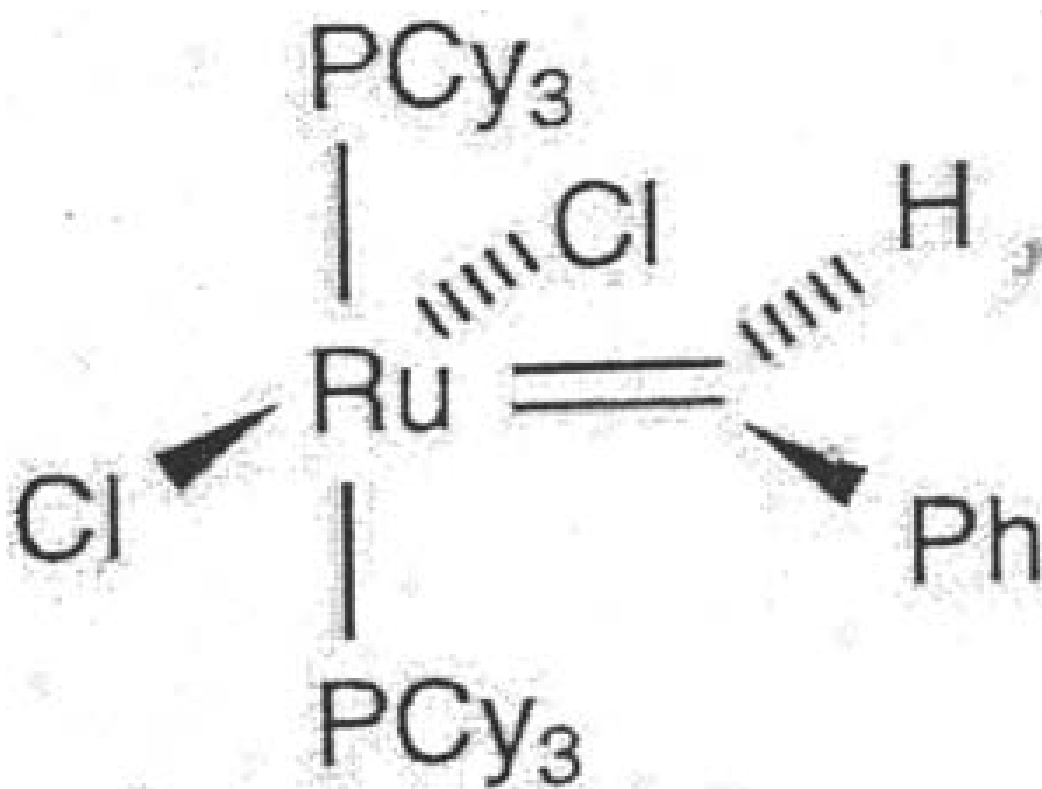


[53,54,56]

Οι καταλύτες του Grubbs

Ο Grubbs ασχολήθηκε με τη μελέτη των καταλυτών που περιέχουν ρουθίνιο Ru. Οι καταλύτες αυτοί ήταν σταθεροί στον αέρα, στην υγρασία και παρουσίαζαν μεγαλύτερη εκλεκτικότητα αλλά χαμηλότερη δραστηριότητα από ότι οι καταλύτες του Schrock.

Πλεονέκτημα: Οι συγκεκριμένοι καταλύτες μπορούσαν να καταλύσουν την ολεφινική μετάθεση ακόμη και με την παρουσία αλκοολών, νερού και καρβοξυλικών οξέων [53,55,56].



[53,54,56]

Η χρησιμότητα της ολεφινικής μετάθεσης

Με την κατάλυση της ολεφινικής μετάθεσης:

- Τα στάδια στην οργανική σύνθεση γίνονται λιγότερα
- Παράγεται περισσότερο προϊόν
- Παράγονται λιγότερα παραπροϊόντα
- Η παραγωγή είναι πιο καθαρή
- Επιτυγχάνεται πιο φιλική συμπεριφορά απέναντι στο περιβάλλον

Οι εφαρμογές της ολεφινικής μετάθεσης

Σήμερα, η οργανική μετάθεση εφαρμόζεται ευρέως στη χημική βιομηχανία, ειδικά στην παραγωγή νεώτερων πλαστικών καθώς και στη φαρμακευτική. Η εφαρμογή της έχει συμβάλει στην παραγωγή προηγμένων ζιζανιοκτόνων, φερομονών, στην παραγωγή πρόσθετων ουσιών στα πολυμερή σώματα και στα καύσιμα, αλλά και στην εξέλιξη της έρευνας για την ανακάλυψη θεραπειών για τους ερεθισμούς, τη βακτηριακή μόλυνση, τον καρκίνο, τη νόσο του Αλτσχάιμερ, την αρθρίτιδα, την οστεοπόρωση, την ηπατίτιδα C, τις ημικρανίες, τον ιό HIV που προκαλεί το AIDS κ.τ.λ. [53,55,56].

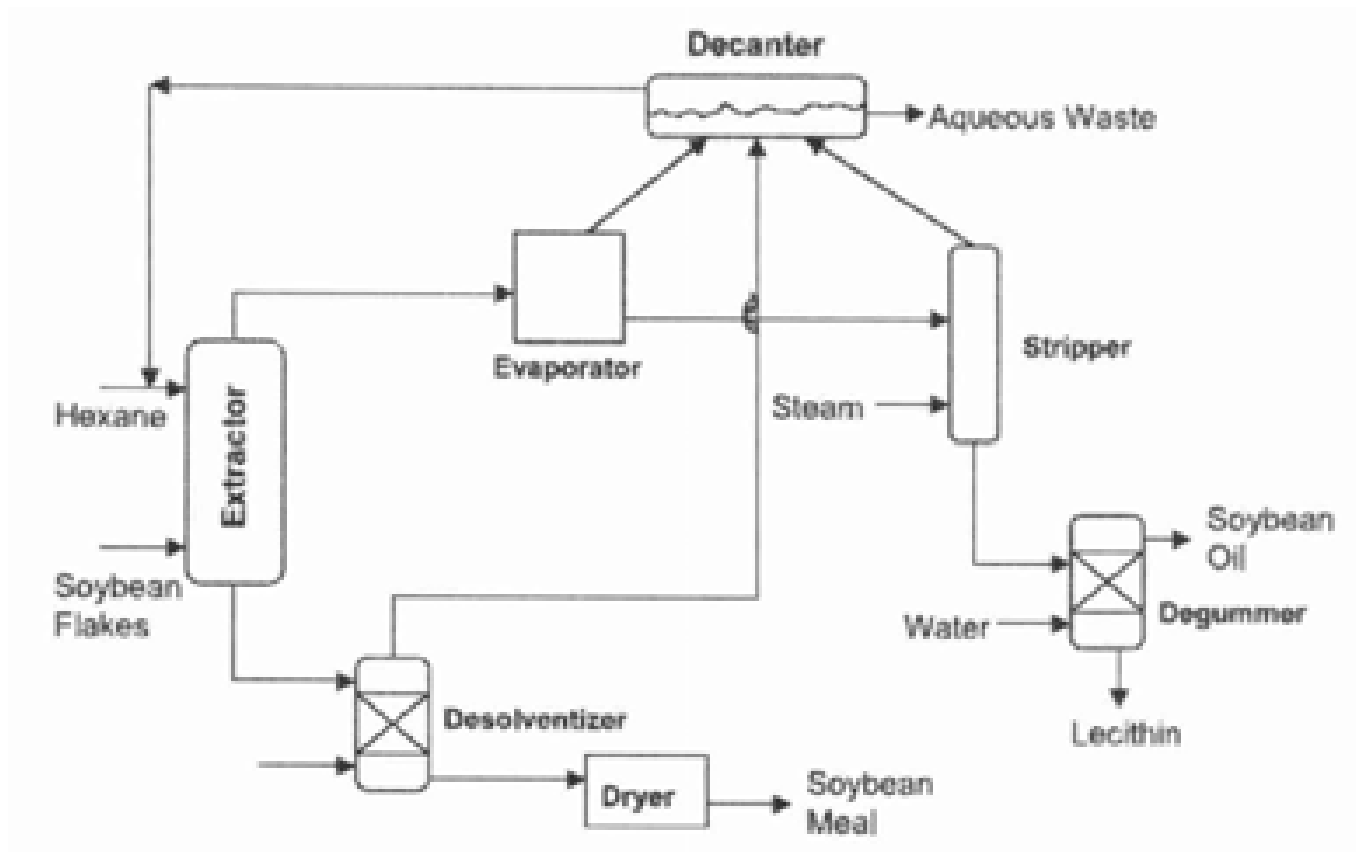
ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑΤΑ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ ΤΗΣ «ΠΡΑΣΙΝΗΣ ΧΗΜΙΚΗΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ/ΜΗ ΠΑΡΑΓΩΓΙΚΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ

1°. Επιλογή χημικού αντιδραστηρίου (διαχωρισμός με εκχύλιση)

Στο παράδειγμα αυτό περιγράφεται η εκχύλιση σόγιας με σκοπό την παραγωγή σογιέλαιου. Η τυπική μέθοδος εκχύλισης που φαίνεται στο Σχήμα 1 γίνεται με τον οργανικό διαλύτη εξάνιο. Με τη νέα μέθοδο (Σχήμα 2) η εκχύλιση των κόκκων σόγιας επιτυγχάνεται με το υπερκρίσιμο CO₂, το οποίο δε δημιουργεί περιβαλλοντικά προβλήματα και κινδύνους, όπως το εξάνιο.

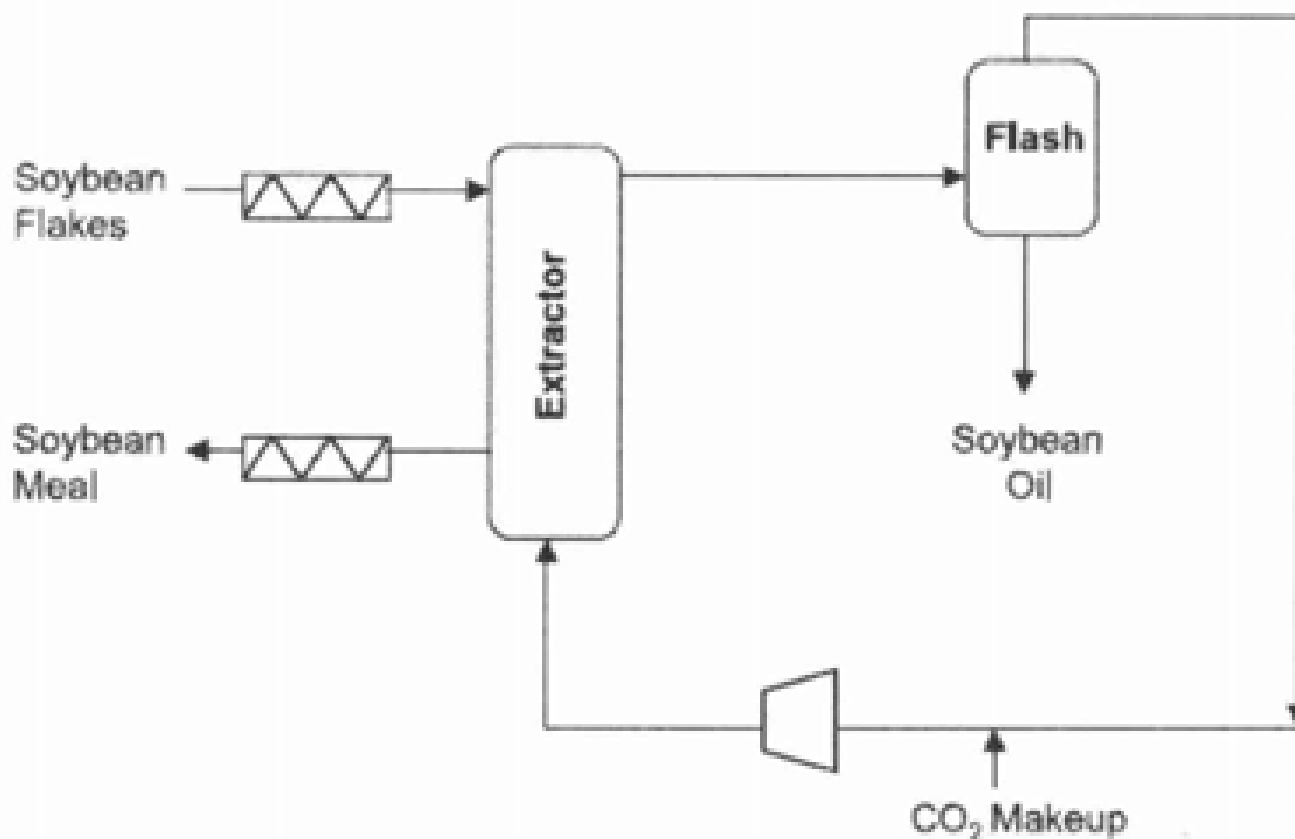
Τα μειονεκτήματα της τεχνολογίας που χρησιμοποιεί το εξάνιο σα μέσο είναι:

1. Αέριες εκπομπές VOC.
2. Ευφλεκτότητα του διαλύτη (στο παρελθόν έχουν γίνει αρκετές εκρήξεις σε ελαιουργικές εγκαταστάσεις σόγιας λόγω του εύφλεκτου εξανίου).
3. Το εξάνιο δεν είναι εκλεκτικό μέσο διαχωρισμού, με αποτέλεσμα να απαιτούνται αρκετά στάδια καθαρισμού στη συνέχεια για τον εξευγενισμό του ελαίου (π.χ. απομάκρυνση φωσφολιπιδίων, χρωστικών ουσιών κλπ.), που επιτυγχάνεται με την επίδραση επιπλέον μεθόδων διαχωρισμού. π.χ. προσρόφηση σε γη διατόμων.
4. Μικρές ποσότητες εξανίου καταλήγουν τελικά στα στερεά απόβλητα (π.χ. στη γη διατομών), τα οποία τα καθιστούν εύφλεκτα.



Σχήμα Ι. Συμβατική διεργασία παραγωγής σογιέλαιου με χρήση εξανίου

Η διεργασία με το υπερκρίσιμο διοξείδιο του άνθρακα είναι απλή, καθώς ο διαλύτης αυτός εκχylίζει κυρίως το επιθυμητό έλαιο και σχεδόν καθόλου τα φωσφολιπίδια και τις χρωστικές ενώσεις μεγάλου μοριακού βάρους. Επομένως, ο αριθμός των σταδίων εξευγενισμού θα είναι κατά πολύ μικρότερος, όπως φαίνεται και στο σχετικό σχήμα. Το μειονέκτημα της μεθόδου είναι η εφαρμογή εξαιρετικά υψηλών πιέσεων (της τάξεως των 700 bar) για την επίτευξη ικανοποιητικής διαλυτότητας του ελαίου στο CO₂. Παρόλα τα πλεονεκτήματα όμως της εκχύλισης με το υπερκρίσιμο CO₂, η νέα αυτή τεχνική δεν εφαρμόζεται ακόμα, εξαιτίας της χαμηλής τιμής πώλησης του προϊόντος. Θα πρέπει να βρεθούν τρόποι βελτίωσης της συμπίεσης του CO₂, ώστε να μειωθεί το κόστος της διεργασίας.



Σχήμα 2. Διεργασία παραγωγής σογιέλαιου με χρήση υπερκρίσιμου

Συνήθως η τεχνολογία εκχύλισης με υπερκρίσιμο CO₂ δεν εφαρμόζεται σε περιπτώσεις, όπου το προϊόν είναι η αραιωμένη εκχυλισμένη ένωση. Για παράδειγμα, στην περίπτωση παραγωγής καφέ χωρίς καφεΐνη, η καφεΐνη εκχυλίζεται και απομακρύνεται, αλλά το προϊόν πώλησης είναι ο καφές. Η τεχνολογία αυτή βρίσκει εφαρμογή και σε περιπτώσεις, όπου η εκχυλισμένη ένωση πωλείται ακριβά.

2°. Ανακύκλωση μάζας μέσα στη βιομηχανία

Στην περίπτωση αυτή μελετάται το διάγραμμα ροής της παραγωγής του ακρυλονιτριλίου (Σχήμα 1). Το ακρυλονιτρίλιο, όπως αναφέρθηκε προηγουμένως, μπορεί να παραχθεί με την οξείδωση του προπυλενίου παρουσία αμμωνίας. Στη συνέχεια το ρεύμα του ακάθαρτου προϊόντος εισέρχεται σε ένα συμπυκνωτήρα, όπου το περισσότερο νερό απομακρύνεται. Έπειτα, το αέριο ρεύμα οδηγείται στη μονάδα καθαρισμού αερίων (scrubber), όπου το ακρυλονιτρίλιο περνά στην υγρή φάση. Το τελευταίο ρεύμα τροφοδοτείται στη μονάδα διαχωρισμού της υδατικής από την

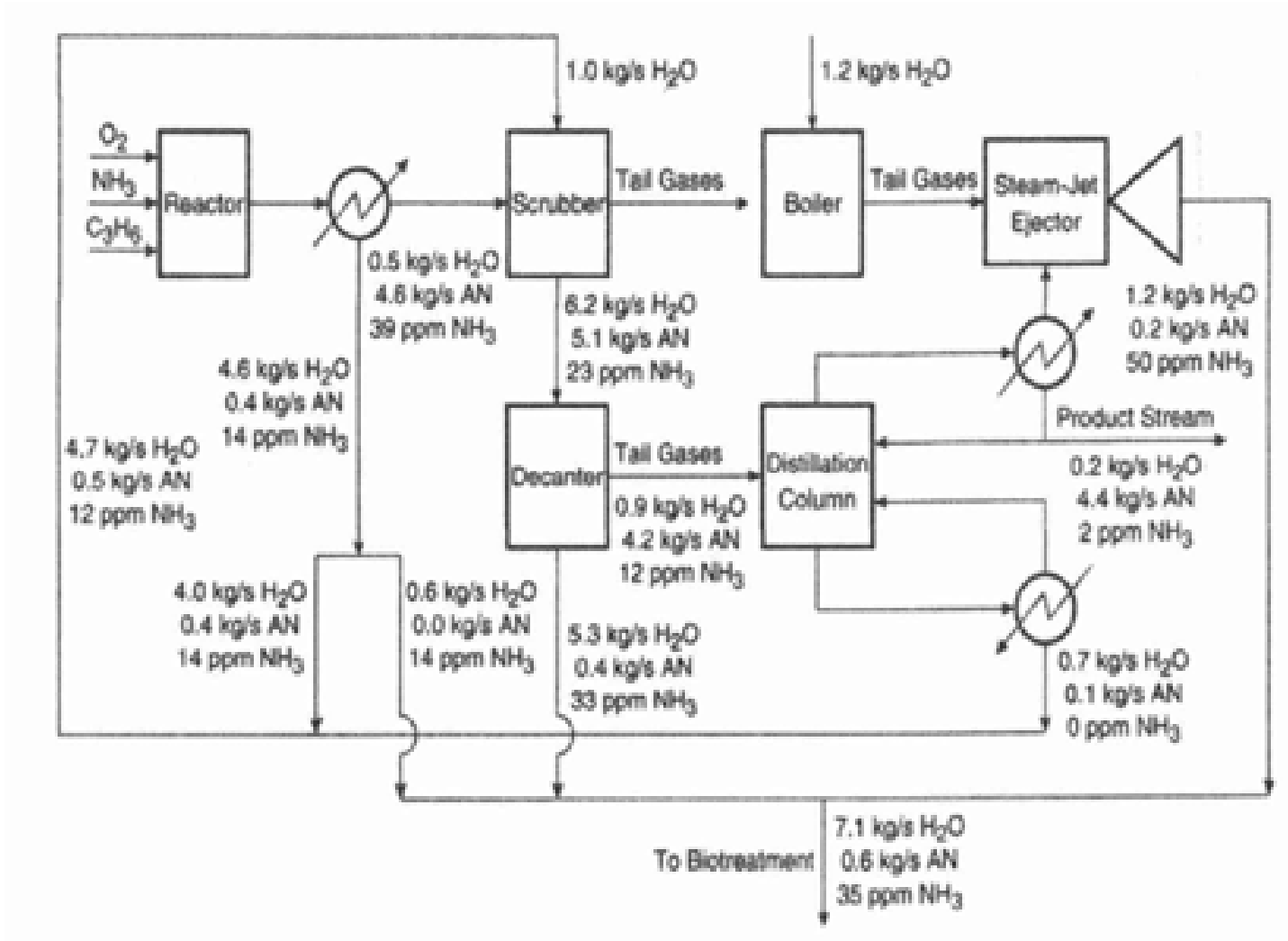
οργανική φάση (decanter), που θα περιέχει τη μεγαλύτερη ποσότητα ακρυλονιτριλίου. Τέλος η οργανική φάση μαζί με κάποια ποσότητα νερού που δε διαχωρίστηκε επαρκώς κατά την προηγούμενη διεργασία, οδηγείται στην αποστακτική στήλη. Η στήλη λειτουργεί υπό κενό και διαχωρίζει το προϊόν από τα υπόλοιπα συστατικά.

Σ' αυτό το πρόβλημα διερευνάται η δυνατότητα ανακύκλωσης του νερού και του ακρυλονιτριλίου (AN), ενώ ο κύριος ρύπος που μας ενδιαφέρει είναι η αμμωνία. Η υγρή τροφοδοσία στη μονάδα καθαρισμού αερίων πρέπει να είναι μεταξύ 5.8 και 6.2kg/s, και μπορεί να περιέχει προσμίξεις AN και αμμωνίας, ενώ η τροφοδοσία στον ατμολέβητα θα πρέπει να είναι καθαρό νερό (1.2kg/s). Με την εφαρμογή των αρχών της πράσινης χημικής τεχνολογίας και συγκεκριμένα της ανακύκλωσης των αξιοποιήσιμων ρευμάτων (υλικών) μέσα στη βιομηχανία, προκύπτουν τα εξής:

- 1)** Όπως φαίνεται από το διάγραμμα ροής του σχήματος 1, οι πηγές αποβλήτων που περιέχουν νερό και AN είναι από το συμπυκνωτή, τη μονάδα διαχωρισμού των φάσεων (decanter), την αποστακτική στήλη και τη συσκευή κενού. Τα σημεία όπου χρειάζεται τροφοδοσία νερού είναι η μονάδα καθαρισμού των αερίων και ο ατμολέβητας (boiler).
- 2)** Το ρεύμα εξόδου από τον πυθμένα της στήλης και το ρεύμα από το συμπυκνωτή μπορούν πιθανώς να ανακυκλωθούν στη μονάδα καθαρισμού αερίων. Ειδικά το πρώτο, που δεν περιέχει καθόλου αμμωνία και έχει το υψηλότερο κλάσμα μάζας σε AN, μπορεί να ανακυκλωθεί ολόκληρο.
- 3)** Εφαρμόζοντας αυτές τις ανακυκλώσεις και επιλύοντας εκ νέου τα ισοζύγια μάζας, προκύπτει το νέο διάγραμμα ροής του σχήματος 2. Με το σχεδιασμό αυτό οι απαιτήσεις για καθαρό νερό στην τροφοδοσία (scrubber, boiler) ελαττώθηκαν κατά 70%, ενώ και η παροχή των αποβλήτων που στέλνονται για επεξεργασία μειώθηκε κατά 30%. Επίσης, το κλάσμα μάζας AN που διαφεύγει προς τα απόβλητα θα είναι κατά 15% μικρότερο. Σημαντικότερη όμως είναι η αύξηση της παραγωγής του AN, που σε κέρδος εκφράζεται σε 9,000,000\$ το χρόνο.

3°. Σχεδιασμός μονάδας διυλιστηρίου

Στο παράδειγμα αυτό, περιγράφεται η διεργασία παραγωγής πετρελαίου σε μια μονάδα διυλιστηρίου, εφαρμόζοντας τεχνικές περιβαλλοντολογικής προστασίας [2,13]. Αυτές οι τεχνικές καταδεικνύουν τη χρησιμότητα των ποιοτικών και ποσοτικών



Σχήμα 4. Διάγραμμα ροής παραγωγής AN μετά την ανακύκλωση των αξιοποιήσιμων ροών

Μια από τις μεγαλύτερες μονάδες σε ένα διυλιστήριο αποτελεί η εγκατάσταση του διαχωρισμού των κλασμάτων της ακατέργαστης πρώτης ύλης (crude oil) για περαιτέρω επεξεργασία. Έστω ότι η υποθετική αυτή μονάδα επεξεργάζεται 175,000 βαρέλια ελαφρού ακατέργαστου αραβικού πετρελαίου την ημέρα. Η εγκατάσταση αυτή αποτελείται αρχικά από μια μονάδα απομάκρυνσης αλάτων και άλλων ανεπιθύμητων συστατικών του πετρελαίου (μέταλλα, αιωρούμενα στερεά), που διαβρώνουν και δηλητηριάζουν τον υπόλοιπο εξοπλισμό και τους καταλύτες αντίστοιχα, έναν πύργο απόσταξης που λειτουργεί σε ατμοσφαιρική πίεση και μία αποστακτική στήλη κενού που επιτρέπει το διαχωρισμό των πτητικών ουσιών σε αποδεκτές (δηλ. όχι ιδιαίτερα υψηλές) θερμοκρασίες. Τα υλικά τροφοδοσίας είναι το ακατέργαστο πετρέλαιο και το νερό, ενώ παράγονται διάφορα ρεύματα που περιέχουν καύσιμο αέριο, βενζίνη, τα κλάσματα ελαφριάς νάφθας και κηροζίνης, το βαρύ απόσταγμα καυσίμου, φυσικό αέριο και στερεό υπόλειμμα.

Μερικές από τις ποιοτικές τεχνικές που εφαρμόστηκαν για την προστασία από τη ρύπανση είναι η αντικατάσταση των χρησιμοποιούμενων φλογίστρων (burners) με άλλα, που είναι ικανά να μειώσουν την παραγωγή οξειδίων του αζώτου, ενώ επιτρέπουν ταυτόχρονα την ανακυκλοφορία του καυσίμου αερίου για την καλύτερη καύση του και τη μείωση των αέριων εκπομπών με τη χρήση ειδικών αεροστεγών βαλβίδων, σωληνώσεων, συμπιεστών και αντλιών, καθώς επίσης και το διαχωρισμό των υγρών αποβλήτων με μικρό ρυπαντικό φορτίο, με σκοπό την ευκολότερη επεξεργασία τους και την επαναχρησιμοποίηση των χρήσιμων υλών τους. Στον πίνακα 5 παρουσιάζονται οι συγκριτικοί υπολογισμοί των παραγόμενων αποβλήτων πριν και μετά την εφαρμογή των κατάλληλων μέτρων πρόληψης της ρύπανσης στο (υποθετικό) αυτό διυλιστήριο. Αναμένεται λοιπόν μείωση των αέριων εκπομπών NO_x κατά 60% και των πτητικών οργανικών ενώσεων κατά 93%. Η ποσότητα ελαίων και γράσου στα απόβλητα μειώνεται σχεδόν στο μισό και η συγκέντρωση των αιωρούμενων στερεών και θειούχων ενώσεων στα απόβλητα ελαττώνεται κατά 32% και 19% αντίστοιχα. Τέλος, η ποσότητα των επικίνδυνων στερεών αποβλήτων μειώνεται κατά 90%, καθώς αυτά μετατρέπονται κατά το μεγαλύτερο μέρος τους σε μη-επικίνδυνα.

4°. Παραγωγή οξικού μεθυλεστέρα

Αυτό, όπως και το επόμενο παράδειγμα, είναι παραδείγματα μείωσης της ρύπανσης στην πηγή δημιουργίας της, όπως περιγράφεται από τη U.S. E.P.A. Η παραγωγή του οξικού μεθυλεστέρα μπορεί να γίνει, είτε με την παραδοσιακή μέθοδο, είτε με τη μέθοδο της Απόσταξης με Αντίδραση (Reactive Distillation), κατά την οποία γίνεται ταυτόχρονα τόσο η αντίδραση της παραγωγής του εστέρα, όσο και ο διαχωρισμός του με απόσταξη. Τα πλεονεκτήματα της συνδυασμένης αυτής παραγωγικής διαδικασίας είναι:

- Βελτιωμένη εκλεκτικότητα:
 - ο Μειωμένη χρήση πρώτων υλών.
 - ο Λιγότερα παραπροϊόντα.
- Μειωμένη κατανάλωση ενέργειας.
- Επίτευξη δύσκολων διαχωρισμών:
 - ο Εξάλειψη/Ελάττωση χρήσης οργανικών διαλυτών.
- Αύξηση ολικού ρυθμού ταχύτητας παραγωγής.

5°. Μείωση επικίνδυνων χημικών ουσιών στη χαρτοβιομηχανία

Για την εξάλειψη της χρήσης και της έκθεσης σε επικίνδυνες χημικές ουσίες κατά τη διαδικασία της λεύκανσης του χαρτιού μελετήθηκε μια νέα τεχνολογία, που χρησιμοποιεί ένα καινούριο χημικό προϊόν, το poly-oxometalate (POM). Με τη νέα αυτή τεχνολογία εξαλείφεται η χρήση επιβλαβών και επικίνδυνων χημικών προϊόντων (π.χ. χλώριο), ενώ παράλληλα επιτυγχάνεται η υψηλή απομάκρυνση της λιγνίνης.

Πίνακας 5. Ποσότητες αέριων εκπομπών και αποβλήτων πριν και μετά τη λήψη των κατάλληλων περιβαλλοντικών μέτρων πρόληψης της ρύπανσης.

Εκπομπές/Απόβλητα	Χωρίς τη λήψη μέτρων	Μετά τη λήψη μέτρων
Αέριες εκπομπές, tons/yr		
NO _x	420	170
CO	180	120
VOCs	180	12
Αιωρούμενα σωματίδια	23	21
S ₀₂	3.3	3
Απόβλητα	870	454
Έλαια, γράσο, L/day TSS, tons/day	5	3.4
BOD, tons/day	0.5	
COD, tons/day	2	2
Επικίνδυνα απόβλητα, tons/day	6.3	0.5
Μη επικίνδυνα απόβλητα, tons/day	κανένα	3.7

Ωστόσο, η νέα τεχνολογία απομάκρυνσης της λιγνίνης έχει υψηλές απαιτήσεις σε ενέργεια και ατμό, εξαιτίας της λειτουργίας του αντίστοιχου οξειδωτικού αντιδραστήρα. Συνεπώς, η επόμενη πρόκληση των τεχνικών της χημικής βιομηχανίας θα είναι η ελάττωση της θερμοκρασίας στην οποία λαμβάνει χώρα η διεργασία αυτή και η αντικατάσταση του οξειδωτικού αντιδραστήρα, ώστε να ελαττωθούν οι απαιτήσεις σε ατμό. Στον πίνακα 6 παρουσιάζονται μερικά συγκριτικά στοιχεία μεταξύ των δύο μεθόδων παραγωγής.

6°. Περιορισμός της έκθεσης στη βιομηχανική όχληση από το νέφος χημικών ουσιών

Στο παράδειγμα αυτό παρουσιάζεται ο τρόπος με τον οποίο μπορεί να προστατευθεί η υγεία των εργαζομένων στη χημική βιομηχανία από το νέφος χημικών ουσιών με μια σχετικά απλή καινούργια τεχνική. Το νέφος είναι αιωρούμενα σταγονίδια στην ατμόσφαιρα, που σχηματίζονται από μηχανικές δράσεις, ή από τη συμπύκνωση των αερίων. Η έκθεση ιδιαίτερα των εργαζομένων, αλλά και των γειτονικών κατοίκων στα σταγονίδια αυτά μπορεί να προκαλέσει σοβαρά προβλήματα υγείας, όπως π.χ. καρκίνο, αναπνευστικά προβλήματα και αλλεργικές αντιδράσεις. Για τον περιορισμό της έκθεσης έχει εξετασθεί η προσθήκη κατάλληλων πολυμερών στα χρησιμοποιούμενα βιομηχανικά ρευστά (υδατικής ή ελαιώδους φάσης). Όσον αφορά τα ελαιώδη, πρέπει να σημειωθεί ότι ήδη εφαρμόζεται αυτή η μέθοδος, ενώ για την υδατική μορφή τους η τεχνική αυτή δεν είναι προς το παρόν οικονομικά συμφέρουσα.

Πίνακας 6. Λεύκανση χάρτου: συγκριτικά στοιχεία μάζας (πρώτων υλών) και ενέργειας.

	Δεδομένα Ρευμάτων Παραγωγικής Διαδικασίας (m ³ /MT)						Δεδομένα Ενέργειας		
	NaOH	O ₂	H ₂ SO ₄	ClO ₂	H ₂ O ₂	POM	Ηλεκτρική (kW-hr/MT)	Εν.	Ατμός (kg/MT)
POM		137				0.27	277		2858
DEop	24	5	5	18.3	6		281		1693

POM = διεργασία με poly-oxometalate (δεν χρησιμοποιεί ClO₂ ή NaOH)

DEop = παραδοσιακή μέθοδος λεύκανσης

Η προσθήκη για παράδειγμα, 70 ppm πολυ-ισοβουτυλενίου σε ελαιώδη ρευστά έχει σαν αποτέλεσμα τη μείωση των αιωρούμενων σταγονιδίων πάνω από το 40%. Για τον έλεγχο του σχηματισμού των αιωρούμενων σταγονιδίων και αεροζόλ από τα υδατικά ρευστά, έχει εξεταστεί η χρήση του πολυ-αυθυλενο-οξειδίου(PEO). Τα αποτελέσματα είναι ελπιδοφόρα, ωστόσο απαιτούνται σχετικά μεγάλες ποσότητες του πολυμερούς αυτού (πάνω από 500 ppm), ενώ το πολυμερές αυτό είναι σχετικά ακριβό και απαιτείται η καθημερινή αντικατάστασή του, οπότε η χρήση του είναι ακόμη περιορισμένη.

7°. Ανακύκλωση εκτός της βιομηχανίας

Ένα κεντρικό θέμα της Πράσινης Χημικής Τεχνολογίας/ Μηχανικής είναι η ανακύκλωση των υλικών. Για παράδειγμα στις Η.Π.Α. μια από τις συνέπειες της μη-πρόβλεψης για ανακύκλωση τα τελευταία χρόνια, αποτελεί η απόθεση σε χώρους χημικής ταφής των επικίνδυνων βιομηχανικών αποβλήτων (με κόστος άνω των 400 εκατομμυρίων(\$)) των 150 εκατομμυρίων παλαιάς τεχνολογίας ηλεκτρονικών υπολογιστών, των οποίων τα υλικά δεν μπορούν εύκολα να ανακυκλωθούν. Παρόμοια προβλήματα προκύπτουν από τις ηλεκτρικές οικιακές και άλλες συσκευές. Πρόσφατα και η Ευρωπαϊκή Ένωση έχει εκδώσει σχετική οδηγία (WEEE) για τη διαχείριση αποβλήτων ηλεκτρονικού και ηλεκτρικού εξοπλισμού. Η λύση για την ανακύκλωση μπορεί να δοθεί με τη βοήθεια της Πράσινης Χημικής Τεχνολογίας/Μηχανικής, σχεδιάζοντας «πράσινα» τα καινούρια υλικά (green design), έτσι ώστε:

- 1) Να χρησιμοποιείται ο μικρότερος αριθμός διαφορετικών τύπων υλικών (π.χ. προσπάθεια χρησιμοποίησης πλαστικού του ίδιου τύπου σε μια κατασκευή).
- 2) Να αποφεύγεται η χρήση τοξικών υλικών που εμποδίζουν τη διεργασία αποσυναρμολόγησης, την επαναχρησιμοποίηση ή/και την αποτέφρωση τους. Εάν επιβάλλεται να χρησιμοποιηθεί κάποια τοξική ουσία, τότε να σχεδιαστεί με τέτοιο τρόπο το προϊόν, ώστε το τοξικό συστατικό να προσδιορίζεται και να διαχωρίζεται σχετικά εύκολα από τα υπόλοιπα.
- 3) Να γίνεται ειδικός σχεδιασμός κατά την παραγωγή τους, ώστε η αποσυναρμολόγηση τους να διεκπεραιώνεται εύκολα. Ένας κακός σχεδιασμός, όπως π.χ. η επιμετάλλωση πλαστικών, δεν επιτρέπει την εύκολη και αποτελεσματική ανακύκλωση τους.
- 4) Να γίνεται χρήση υλικών, τα οποία θα μπορούν να ξαναχρησιμοποιηθούν για την κατασκευή του ίδιου προϊόντος, π.χ. από αλουμίνιο.

ΛΙΘΟΓΡΑΦΙΑ

Η λιθογραφία χρησιμοποιεί συνήθως το φως (φωτολιθογραφία) που παράγεται από λέιζερ ή άλλες πηγές διαφόρων μηκών κύματος (365 nm, 248 nm και 193 nm) για να δημιουργήσει εικόνες ή σχήματα σε ειδικά κατασκευασμένα φιλμ πολυμερών που είναι γνωστά ως φωτοανθεκτικά. (photoresists). Αφού παραχθούν τα πρότυπα αυτά, συνήθως "μεταφέρονται" στο υποκείμενο υπόστρωμα χρησιμοποιώντας επιθετικές συνθήκες επεξεργασίας που περιλαμβάνουν τις αντιδραστικές διαδικασίες εγχάραξης ιόντων. Οι Wilson και οι συνεργάτες του χρησιμοποίησαν την πλατφόρμα αυτή

φωτολιθογραφίας για να κατασκευάσουν διακριτά σχήματα (τετράγωνα, κύκλους, τρίγωνα, σταυρό) σε επίπεδο μικρών έως χιλιοστομέτρων). Η ακτινοβολία με υπέρυθρες ακτίνες μέσω μίας φωτομάσκας χρησιμοποιήθηκε για να τυποποιηθούν τα φωτοπολυμεροποιησίμα υγρά σε υλικά υδρογέλης τα οποία έχουν διακριτά σχήματα. Τα μη πολυμεροποιημένα υλικά απομακρύνθηκαν, αφήνοντας στην ίδια θέση τα ελεύθερα διασταυρούμενης σύνδεσης μεγέθους χιλιοστομέτρων αντικείμενα τα οποία ανταποκρίνονταν με τα σχήματα στην φωτομάσκα. Τα αντικείμενα αυτά αποτελούνταν από υδρογέλη PEG με την ενσωμάτωση συγκεκριμένης βιοαισθητικής μοριακής οντότητας και η παρακολούθηση της συμπληρωματικής σύνδεσης με την βιοσυστοιχία έγινε με χρήση φλουοροσκεΐνης.

Στον κόσμο των ολοκληρωμένων κυκλωμάτων, η φωτολιθογραφία αποτελεί την τελευταία τεχνική για την παραγωγή προτύπων. Ωστόσο, γίνεται ολοένα και πιο δύσκολο η τεχνική αυτή να ακολουθήσει τον διπλασιασμό του αριθμού transistors σε ένα ολοκληρωμένο κύκλωμα κάθε 18 μήνες όπως προβλέπει ο νόμος του Moore. Αυτό ισχύει ιδιαίτερα σήμερα, καθώς τα μεγέθη των χαρακτηριστικών στα ολοκληρωμένα κυκλώματα ήδη είναι πολύ χαμηλότερα από το μήκος κύματος του φωτός που χρησιμοποιείται για να επιτευχθούν οι εικόνες αυτές. Για να προκύψουν τα μοντέλα αυτά με ιδιαίτερα χαμηλά μεγέθη χαρακτηριστικών, οι ερευνητές έπρεπε να προβούν σε σημαντικότερες προόδους στην φωτολιθογραφία που περιλαμβάνουν την χρήση ολοένα και χαμηλότερων μηκών κύματος φωτός (π.χ. 193 nm ARF και 157 nm F2 Lasers, ακραίες υπέρυθρες ακτίνες και ακόμη ακτίνες X), μάσκες αλλαγής φάσης και μέσα λιθογραφικής εμβάπτισης (immersion lithographic means). Ωστόσο όλες αυτές οι προσεγγίσεις είναι εξαιρετικά δαπανηρές και πράγματι αναμένεται ότι η επόμενη γενικά φωτολιθογραφικών εργαλείων θα κοστίζει άνω των 30 εκατ. δολαρίων ανά εργαλείο. Ένα συνηθισμένο εργοστάσιο ηλεκτρονικών που ονομάζεται Foundry θα απαιτεί πολλά τέτοια εργαλεία ώστε να κατασκευάζει ηλεκτρονικές συσκευές πολλών επιπέδων οι οποίες χρησιμοποιούνται σήμερα. Το γεγονός αυτό απαιτεί από τις εταιρείες ηλεκτρονικών όπως η IBM και η INTEL να επενδύουν δισεκατομμύρια δολάρια σε νέα εργοστάσια. Η μέθοδος αυτή της φωτολιθογραφίας για την παραγωγή νανο-υλικών "από πάνω προς τα κάτω" δεν διαθέτει ούτε ικανοποιητική σχέση κόστους - αποτελεσματικότητας ούτε είναι φιλική προς τον χρήστη ούτε είναι απαραίτητη στη χρήση στη νανοϊατρική. Αντίθετα, σήμερα εφαρμόζεται μια νέα λιθογραφική τεχνική, η έντυπη λιθογραφία για την ακριβή παρασκευή των νανοσωματιδίων της επομένης γενιάς, των ολοκληρωμένων κυκλωμάτων και άλλων ηλεκτρονικών και φωτονικών συσκευών με χαρακτηριστικά κάτω των 100 nm.

Εδώ, χρησιμοποιείται μια πολύ απλή διαδικασία καλουπώματος όπου η μάσκα η οποία περιέχει σχηματισμένες κοιλότητες έρχεται σε άμεση επαφή με υγρά τα οποία επιδέχονται χειρισμών ώστε να σχηματιστούν χαρακτηριστικά και πρότυπα στις επιφάνειες ή σε άλλα ενεργοποιημένα υποστρώματα. Ως αρχή, η έντυπη λιθογραφία είναι εξαιρετικά οικονομικότερη από τις κλασικές φωτολιθογραφικές μεθόδους που χρησιμοποιούνται για να οδηγηθούμε σε χαρακτηριστικά τα οποία είναι μικρότερα από τα μήκη κύματος ακτινοσκοπικής έκθεσης που υπάρχουν σήμερα.

Έτσι υπάρχει ιδιαίτερα υψηλό ενδιαφέρον όσον αφορά την έντυπη λιθογραφία που θα αντικαταστήσει την φωτολιθογραφία. Ωστόσο, ένα γενικώς αποδεκτό μειονέκτημα της έντυπης λιθογραφίας είναι η αποκαλούμενη στιβάδα flash "SCUM", που συνδέει όλα τα χαρακτηριστικά τα οποία προκύπτουν με τη χρήση της έντυπης λιθογραφίας. Στις εφαρμογές μικροηλεκτρονικής, η στιβάδα "SCUM" συνήθως απομακρύνεται με χρήση ισχυρών διαδικασιών εγχάραξης, όπως είναι η αντιδραστική εγχάραξη ιόντων, από πλάσμα οξυγόνου ($O_2 - RIE$) που λειτουργεί ,βομβαρδίζοντας μια επιφάνεια από ένα ανισοτροπικό ρεύμα σωματιδίων υψηλής ενέργειας τα οποία αφαιρούν χημικά την ανθεκτική ομοιομορφία για να απομακρυνθεί η στιβάδα "SCUM".Ενώ οι μέθοδοι αυτές επεξεργασίας είναι καλά εδραιωμένες στην βιομηχανία των ημιαγωγών όπου τα σκληρά, ανθεκτικά ανόργανα υλικά αποτελούν τον κανόνα, είναι ασφαλώς ασύμβατα με τα ευαίσθητα οργανικά υλικά και εκείνα που περιέχουν βιολογικά παραγόμενα με μοριακές οντότητες [67].

Ταυτόχρονος έλεγχος στο μέγεθος, στο σχήμα, στη λειτουργία και στο φορτίο: PRINT (Particle Replication in Non-Wetting Templates). (παραγωγή σωματιδίων σε μη υγράντα πλαίσια).

Η προσέγγιση από πάνω προς τα κάτω της έντυπης λιθογραφίας αποτελεί μια εναλλακτική μέθοδο για να προκύψουν ειδικοί ως προς το σχήμα νανομεταφορείς. Το 2004, οι DeSimone και Συνεργάτες στο τμήμα χημείας του UNC ανέφεραν μια σημαντική πρόοδο στα υλικά και στις μεθόδους που χρησιμοποιούνται στην έντυπη λιθογραφία που παρέχουν τη δυνατότητα για την παραγωγή χαρακτηριστικών κάτω των 50 nm. Έχουν αποδείξει ότι τα ειδικά σχεδιασμένα, φωτοχημικά επεξεργάσιμα υπερφθοροπολυαιθερο-κλαστομερή(PFPEs) μπορούν να διεξάγουν την ακριβή διάπλαση σε κλίμακα νανομέτρων όταν χρησιμοποιούνται αντί για παραδοσιακά υλικά, υλικά όπως είναι το quartz, το γυαλί και η σιλικόνη. Τα PFPEs έχουν τόσο χαμηλή ενέργεια στην επιφάνεια ώστε η απομάκρυνση των σχηματισμένων υλικών που

κατασκευάζονται από καλούπια με βάση τα PFPE είναι εύκολη. Η απόδοση των PFPEs στην έντυπη λιθογραφία αποδείχθηκε αρχικά με χρήση αντιγράφων καλουπιών που προέκυψαν από κύρια πρότυπα που δημιούργησε το ερευνητικό κέντρο Almaden της IBM στην Καλιφόρνια τα οποία είχαν χαρακτηριστικά με πλάτος 140 nm, βάθος περίπου 50 nm και απόσταση μεταξύ τους 70 nm. Το καλούπι κατασκευάστηκε με χρήση βασισμένων σε PFPE υλικών φθοροελαστομερούς (παράγων σκληρότητας 0,4 nm) διετήρησαν τα χαρακτηριστικά της νανοκλίμακας της κύριας πρότυπης μονάδας wafer σιλικόνης. Τα χαρακτηριστικά στο καλούπι με βάση το PFPE όπως προσδιορίζονται από το AFM είχαν μέσο ύψος 51 nm το οποίο συμφωνεί απολύτως με το ύψος των 54 nm που μετράται για τα χαρακτηριστικά στο κεντρικό καλούπι σιλικόνης.

Όπως αναφέρθηκε προηγουμένως, ένα από τα μειονεκτήματα της έντυπης λιθογραφίας είναι η υπάρχουσα στιβάδα SCUM που αποτελεί το μειονέκτημα της τεχνικής αυτής όταν στηρίζεται σε παραδοσιακά υλικά όπως είναι η πολυ-(διμεθυλο-σιλοξίνη) (PDMS). Τα καλούπια με βάση το PFPE από την άλλη, καθώς είναι τόσο υψηλής φθορίωσης, διαθέτουν ενέργειες επιφάνειας οι οποίες μετρήθηκαν ότι είναι 12 dynes cm^{-1} , πολύ χαμηλότερες από εκείνες των PDMS (20 dynes cm^{-1}). Με τέτοια χαρακτηριστικά μη εφύγρανσης, μη διόγκωσης, τα υλικά με βάση το PFPE παρέχουν τη δυνατότητα παραγωγής αντικειμένων που μπορούν να συγκεντρωθούν, να είναι ελεύθερα SCUM, ή σωματιδίων, χρησιμοποιώντας αυτό που ονομάζεται αναπαραγωγή σωματιδίων σε μη υγραντά πλαίσια ή PRINT. Η μέθοδος PRINT παρέχει τη δυνατότητα παραγωγής μονοδιαχέομενων σωματιδίων. Η PRINT χρησιμοποιεί τις μη εφυγραντικές ιδιότητες του υψηλά φθοροποιημένου ελαστομερικού καλουπιού και του υποστρώματος για να παρέχει μεμονωμένες οντότητες, με τη δυνατότητα συγκέντρωσης. Το πεδίο εφαρμογών είναι τεραστιο (φωτοβολταϊκές εφαρμογές, αύξηση απόδοσης αντιδράσεων, αύξηση απορροφησης φαρμάκων από τον οργανισμό κτλ) Αυτό επιτυγχάνεται αν επωφεληθούμε από την αναστρέψιμη σφραγίδα που σχηματίζεται μεταξύ του καλουπιού και του υποστρώματος όταν εφαρμόζεται ελαφρώς καθοδική δύναμη. Αυτό είναι ιδιαίτερα σημαντικό για τα οργανικά υγρά που θα τεθούν σε καλούπι αν αυτό έρθει σε επαφή με γωνία άνω των 90 μοιρών με το φθοριωμένο υπόστρωμα. Υπό τις συνθήκες αυτές, το οργανικό υγρό το οποίο θα τεθεί σε καλούπι είτε περιορίζεται εντός των σχηματισμένων κοιλοτήτων του καλουπιού είτε ωθείται προς τα έξω εξαιτίας της χαμηλής ενέργειας επιφάνειας τόσο του καλουπιού όσο και της επιφάνειας. Η μεθοδολογία αυτή είναι μια μέθοδος ασταθής και ευέλικτη για την άμεση παραγωγή και συγκέντρωση μονοδιαχέομενων ειδικών ως προς το σχήμα

νανοβιο-υλικών. Αντίθετα από τις άλλες τεχνικές παρασκευής σωματιδίων, η PRINT είναι ευαίσθητη και αρκετά γενική ώστε να είναι συμβατή με μεγάλη ποικιλία σημαντικών θεραπευτικών παραγόντων τόσο για την ανίχνευση όσο και την ακτινολογία όγκων, συμπεριλαμβανομένων διαφόρων φορέων (π.χ. DNA, πρωτεϊνών, χημειοθεραπευτικών φαρμάκων, biosensor χρωστικών, ραδιοσημαντών, σκιαγραφικών παραγόντων), υποκαταστάτες στόχευσης (π.χ. αντισώματα, πεπτίδια στόχευσης κυττάρων) και λειτουργικά υλικά μεσοκυττάρια ουσίας (π.χ. βιοαπορροφώμενα πολυμερή, μεσοκυττάρια ουσίες που ανταποκρίνονται σε ερεθίσματα, κ.τ.λ.). Το PRINT είναι η πρώτη γενική, ενιαία μέθοδος που έχει τη δυνατότητα σχηματισμού σωματιδίων τα οποία είναι μονοδιαγερόμενα ως προς το μέγεθος και ομοιόμορφα ως προς το σχήμα. Μπορεί να οδηγήσει στον σχηματισμό οποιουδήποτε σχήματος, μπορεί να αποτελείται από οποιοδήποτε υλικό καλούπι, μπορεί να λειτουργήσει υπό εξαιρετικά ήπιες συνθήκες (και επομένως είναι συμβατό με ευαίσθητα φορτία), μπορεί να γίνει χειρισμός ώστε να γίνουν χημικές επεξεργασίες μετά την ενεργοποίηση ώστε να γίνει βιοσύζευξη των υποκαταστατών στόχευσης και ουσιαστικά οδηγεί σε σωματίδια συστοιχίας τα οποία επιδέχονται χειρισμό που ανοίγει συνδυαστικές προσεγγίσεις δεδομένου ότι τα σωματίδια μπορούν να έχουν "γραμμωτούς κωδικούς" με χρήση μεθόδων παρομοίων με τις τεχνολογίες της συστοιχίας DNA. Αντίθετα από τις ισχύουσες μεθόδους όπου χρησιμοποιούνται οι τεχνικές microfluidics για την παραγωγή σωματιδίων, η PRINT έχει τη δυνατότητα να οδηγήσει σε μεγέθη μεγαλύτερου εύρους (> 100 nm) και επιδέχεται περισσότερους χειρισμούς όσον αφορά τη δυνατότητα κλιμάκωσης.

Στη διαδικασία PRINT, ένας επιδεχόμενος χειρισμών υπερφθοροπολυαιθέρας (PFPE) χύνεται σε ένα τυποποιημένο κύριο καλούπι, για να προκύψει ένα καλούπι εναντιομερούς πολυμερούς. Το καλούπι PFPE έρχεται σε επαφή με έναν υγρό πρόδρομο ενός μη υγραντικού υποστρώματος και εφαρμόζεται πίεση για να δημιουργηθεί μια σφράγιση μεταξύ του καλούπιού και του υποστρώματος. Ο μονομερής πρόδρομος πολυμεροποιείται και συγκεντρώνονται μονοδιαγερόμενα, ειδικά ως προς το σχήμα σωματίδια πολυμερούς. Το κλειδί για να προκύψουν ομοιόμορφα σωματίδια ενός συγκεκριμένου σχήματος με χρήση του PRINT είναι να υπάρχουν ακέραια κύρια πρότυπα τα οποία περιέχουν τα επαναλαμβανόμενα χαρακτηριστικά. Σήμερα, τα επαναλαμβανόμενα ορθογώνια χαρακτηριστικά έχουν μεγέθη που κυμαίνονται από τα 500 μm έως τα 70 nm όπου το μήκος μπορεί να ποικίλει και στις τρεις διαστάσεις. Τα χαρακτηριστικά τοποθετούνται αρκετά μακριά μεταξύ τους ώστε

να παραμένει αρκετός χώρος μεταξύ των χαρακτηριστικών προκειμένου να διασφαλιστεί ότι θα υπάρχει περιθώριο για την περίσσεια υγρού στην τελική διαδικασία PRINT όταν θα χρησιμοποιούνται υγρά που έχουν γωνία επαφής άνω των 90 μοιρών με το φθοριωμένο υπόστρωμα. Αυτό επίσης σταθμίζεται έναντι του στόχου της συγκέντρωσης όσο γίνεται περισσότερων χαρακτηριστικών σε μια περιοχή ώστε ν' αυξηθεί η διεκπεραιωτικότητα της PRINT.

Για να αναδειχθούν οι δυνατότητες κλιμάκωσης προς τα πάνω της διαδικασίας PRINT, κατασκευάστηκε κύριο καλούπι με οριστικές εγχαράξεις με μεταφορά ενός επαναλαμβανόμενου ομοιόμορφου σχήματος από επωξειδιά με βάση την αντοχή σε φέτες σιλικόνης με χρήση της συμβατικής φωτολιθογραφίας και της διαδικασίας αντιδραστικής εγχάραξης ιόντων. Το πρότυπο, το οποίο έχει πλέον εγχαραχθεί οριστικά στην φέτα με καλά ορισμένες οντότητες μπορεί να χρησιμοποιηθεί επανειλημμένως ώστε να προκύψει μεγάλος αριθμός πανομοιότυπων ελαστομερών αντιγράφων καλουπιών PFPE με φωτοχημική επεξεργασία του ενεργοποιημένου με διμεθακρυλικό ολιγομερούς PFPE.

Τα αντίγραφα καλούπια του PFPE χρησιμοποιήθηκαν για την κατασκευή μεμονωμένων μονοδιαχεόμενων σωματιδίων με χρήση της διαδικασίας PRINT, και στη συνέχεια συγκεντρώθηκαν για να παράγουν κολλοειδή εναιωρήματα.

Μέχρι σήμερα, τα μονοδιαχεόμενα σωματίδια από ευρύ φάσμα υλικών σωματιδίων της μήτρας έχουν κατασκευαστεί με χρήση της PRINT. Η PRINT μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να κατασκευαστούν τα σωματίδια αυτά από παράγωγα πολυ-D-γαλακτικού οξέος (PLA) όπως είναι το πολυ-λακτίδη-κο-γλυκολίδη (PLGA). Είναι γνωστό ότι το PLA και το PLGA είχαν σημαντικές τεχνολογικές εφαρμογές στην απόδοση φαρμάκων και στη βιομηχανία ιατρικών βοηθημάτων επειδή είναι βιοαπορροφώμενα και μη τοξικά. Τα μονοδιαχεόμενα σωματίδια PLA με χρήση της PRINT κατασκευάστηκαν με επεξεργασία μικρής ποσότητας κυκλικού μονομερούς λακτίδης (3S)-cis-3,6-διμεθυλο-1,4-διοξάνη-2,5-διόνη, με εγκεκριμένο από τον FDA καταλύτη πολυμερισμού, στους 110°C σε καλούπι PFPE που είχε σχεδιαστεί για την κατασκευή σωματιδίων 200 nm. Μετά την επίτευξη του πολυμερισμού, το καλούπι PFPE και το επίπεδο, μη υγραντικό υπόστρωμα μπορούν να διαχωριστούν για να αποκαλυφθεί μια συστοιχία μονοδιαχεόμενων τραπεζοειδών σωματιδίων 200 nm.

Επιπλέον, παρήχθησαν μονοδιαχεόμενα, ειδικά ως προς το σχήμα τραπεζοειδή σωματίδια των 200 nm από πολυπυρόλη (Ppy). Το Ppy χρησιμοποιήθηκε σε διάφορες εφαρμογές, που κυμαίνονται από τις ηλεκτρονικές συσκευές και τους αισθητήρες μέχρι τα κυτταρικά **scaffolds** (ικριωματα). Τα σωματίδια Ppy κατασκευάστηκαν με

πολυμερισμό σε ένα στάδιο με τοποθέτηση μιας σταγόνας διαλύματος 1:1 v/v της THF-πυρρόλης και υπερχλωρικού οξέος σε συσκευή καλούπωσης και στη συνέχεια ακολούθησε η εξάτμιση σε κενό του μέσου αραίωσης.

Όπως αναφέρθηκε προηγουμένως, το PEG είναι ένα υλικό τεράστιου ενδιαφέροντος για την βιοτεχνολογία εξαιτίας της εμπορικής του διαθεσιμότητας, του μη τοξικού χαρακτήρα του και της βιοσυμβατότητάς του. Η PRINT μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να παραχθούν μονοδιαχέσιμα σωματίδια PEG επιπέδου νανομέτρου και μικρότερα σε ευρύ φάσμα συνθέσεων (π.χ. με διάφορες πυκνότητες διασταυρούμενης σύνδεσης της υδρογέλης, με ενσωμάτωση των κατιονικά φορτισμένων μονομερών, ομάδων σύνδεσης κ.τ.λ.) με καλούπωση του PEG-διακρυλικού υγρού μονομερούς και στη συνέχεια με φωτοπολυμερισμό σε θερμοκρασία δωματίου.

Επειδή η μορφολογία των σωματιδίων ελέγχεται από το κεντρικό καλούπι, είναι δυνατόν να παραχθεί οποιοδήποτε από τα παραπάνω αναφερόμενα συστήματα μονομερών σε σωματίδια σε μεγάλη ποικιλία κλιμάκων μήκους.

Επωφελούμενοι από την χαρακτηριστική ακρίβεια της PRINT, είναι δυνατόν να ενσωματώσουμε εκατομμύρια υλικών στο πρόδρομο διάλυμα της PRINT πριν τον σχηματισμό των σωματιδίων, συμπεριλαμβανομένων των ακτινοσκοπικών σκιαγραφικών παραγόντων (υπερπαραμαγνητικά σωματίδια οξειδίου του σιδήρου), στην θεραπευτική (δοξορουβικίνη/πακλιταξέλη/μπορτεζονίδη), οργανικές βαφές (ροδαμίνη), αντισώματα, πρωτεΐνες και/ή DNA. Τα φορτία αυτά μπορούν να εισαχθούν σε κάψουλες εντός των καλουπιών των σωματιδίων PRINT με χρήση ήπιων, μη αντιδραστικών μεθόδων για τον σχηματισμό σωματιδίων μέσω της εξάτμισης του μέσου αραίωσης. Η βιολογική δραστηριότητα των συγκεκριμένων φορτίων μπορεί να διατηρηθεί κατά τη διάρκεια της εισαγωγής σε καψάκια της PRINT. Αυτό έχει επιβεβαιωθεί από την διεξαγωγή πειραμάτων σύνδεσης με βιοτίνη με σωματίδια που περιείχαν αβιδίνη. Συγκεκριμένα, αβιδίνη ραδιοσημασμένη με φλουοροσκεΐνη (CY-3 φθορίζουσα χρωστική) εισήχθη σε καψάκιο σε κωνικά σωματίδια PEG-ακρυλικού κατά τη διαδικασία PRINT, τα σωματίδια ήταν μεγέθους 500 nm (70% PEG-διακρυλικά, 30% PEG-μονομεθακρυλικά) όπως περιγράφηκε παραπάνω. Το PEG-μονομεθακρυλικό προστέθηκε στο παρασκευασμένο σωματίδιο για να αυξηθεί το μέγεθος της οπής του δικτύου των σωματιδίων που ενισχύει τον ρυθμό διάχυσης της βιοτίνης. Τα σωματίδια αυτά PRINT που περιέχουν αβιδίνη στη συνέχεια εκτέθηκαν σε σημασμένο με φλουοροσκεΐνη διάλυμα βιοτίνης επί 30 λεπτά, εκπλύθηκαν αρκετές φορές με ύδωρ για να απομακρυνθεί η μη συνδεδεμένη βιοτίνη και στη συνέχεια έγινε

παρακολούθηση με χρήση συνεστιακής μικροσκοπίας. Η ραδιοσημασμένη με CY-3 αβιδίνη (κόκκινη) χρωματίστηκε με σημασμένη με φλουροοσκεΐνη βιοτίνη (πράσινο), κάτι που δείχνει την προτίμηση της βιοτίνης να συνδεθεί με τα σωματίδια που περιέχουν αβιδίνη. Πειράματα ελέγχου με σωματίδια PRINT που ήταν πανομοιότυπα από κάθε άποψη, με την εξαίρεση του ότι δεν περιείχαν εγκατακλιωμένη αβιδίνη, δεν έδειξαν σύνδεση της βιοτίνης. Τα αποτελέσματα αυτά δείχνουν ότι η βιολογική αναγνώριση της βιοτίνης/αβιδίνης διατηρείται κατά τη διάρκεια της φωτοεγκατακλιώσεως με τη μέθοδο PRINT, κάτι που συμφωνεί με διάφορες προηγούμενες μελέτες όπου αποδείχθηκε η διατήρηση της βιολογικής δραστηριότητας των πρωτεϊνών και του DNA μετά τον φωτοπολυμερισμό με υπέρυθρες στο εσωτερικό υδρογελών με βάση PEG-ακρυλικό.

Προηγούμενη βιβλιογραφία έδειξε ότι η μη ιϊκοί φορείς απόδοσης που χρησιμοποιήθηκαν σε *in vivo* εφαρμογές απαιτούσαν μεγέθη των 200 nm ή χαμηλότερα όσον αφορά τη διάμετρο ώστε να υπάρχει αυξημένη συστημική κυκλοφορία, με αποτέλεσμα να είναι λιγότερο πιθανόν το σωματίδιο να παγιδεύεται στο ήπαρ ή τη σπλήνα.

Συμπερασματικά, η νέα αναδυόμενη τεχνική, PRINT, συνδυάζει κάποια από τα καλύτερα χαρακτηριστικά τόσο της σύνθεσης από κάτω προς τα πάνω όσο και εκείνης από πάνω προς τα κάτω, παρέχοντας μια ιδιαίτερα ευέλικτη μέθοδο για την παραγωγή μονωμένων, μονοδιάχυτων οργανικών σωματιδίων οποιουδήποτε σχεδόν μεγέθους και σχήματος που μπορεί να περιέχουν ευαίσθητους οργανικούς λειτουργικούς παράγοντες [67].

Πίνακας 1. Οι μέθοδοι, με περιγραφή των θετικών και αρνητικών χαρακτηριστικών της κάθε μιας από τις κύριες τεχνικές σύνθεσης των νανοσωματιδίων από κάτω προς τα πάνω και από πάνω προς τα κάτω [67].

Μέθοδος	Υλικό	Μέγεθος	Λειτουργικότητα	Δυνατότητα φόρτισης	Δυνατότητα αλλαγής κλίμακας;
Πυρήνωση	Ανόργανο	< 100 nm	Ελάχιστη	Όχι	Ναι
Σύνθεση	Οργανικό	10 nm-μm	Ναι	Ελάχιστη	Ναι
Μικρο-υγρά microfluidics	Οργανικά συστατικά	Mm	Ελάχιστη	Ελάχιστη	Ίσως
Λιθογραφία από πάνω προς τα κάτω (φωτολιθογραφία)	Οργανικά συστατικά	nm-μm	Ναι	Ναι	Όχι
Έντυπη (imprint) λιθογραφία PRINT	Οργανικά συστατικά	nm-μm	Ναι	Ναι	Ναι

SELF-ASSEMBLED MONOLAYERS ON MESOPOROUS SUPPORTS

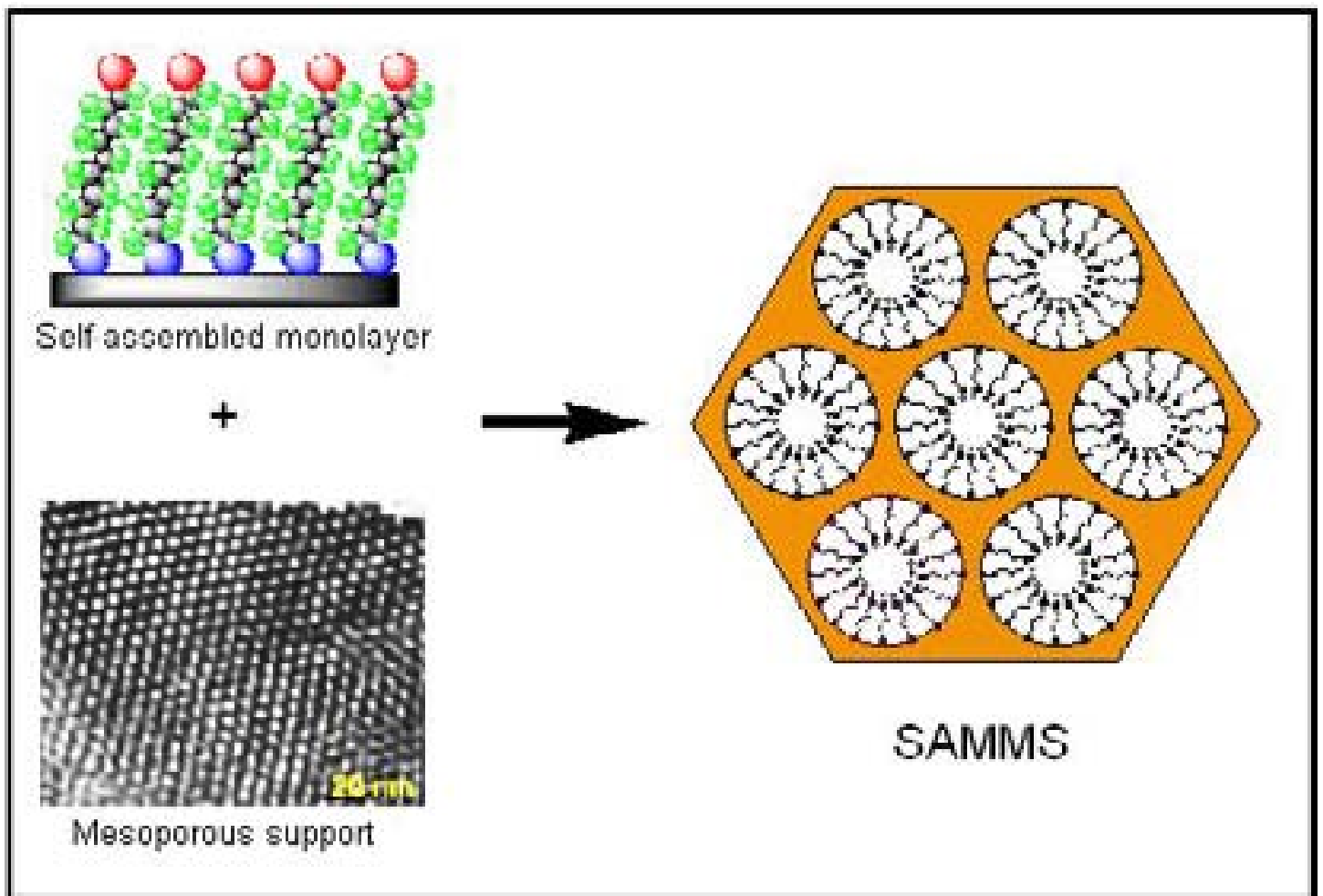
SAMMS Τεχνική (Περίληψη)

Τα SAMMS είναι μία τεχνολογία πολλαπλά αναγνωρισμένη και με ένα ευρύ φάσμα εφαρμογών στην επανάκτηση, επεξεργασία νερού, καταλυτών, αισθητήρων και ελεγχόμενης έκλυσης. Στη παρούσα μελέτη παραβάλλεται μία περίληψη της αναπτυξιακής κατάστασης των SAMMS για τις αγορές επεξεργασίας και ανάκτησης μετάλλων. Το εργαστήριο Pacific Northwest National Laboratory και η εταιρεία Steward Environmental Solutions συνεργάζονται για την ανάπτυξη και την κατασκευή αυτού του πολλά υποσχόμενου υλικού.

Παρουσίαση Τεχνολογικού επιπέδου

Τα SAMMS – Αυτοοργανωμένα Μονοστρώματα σε Μεσοπορώδη Υποστρώματα- κατασκευάζονται με την προσκόλληση ενός μονοστρώματος σε μεσοπορώδη κεραμικά υποστηρίγματα (Εικόνα 1). Το μεγαλύτερο μέγεθος των πόρων που προσφέρουν τα μεσοπορώδη υλικά (20-200 Å) επιτρέπουν την προσκόλληση σε ένα μονόστρωμα καθώς και την πρόσβαση στις θέσεις σύνδεσης εν διαμέσω των πόρων. Η υψηλή επιφάνεια των υλικών (~ 1000m²/g) επιτρέπει κατά παρόμοιο τρόπο την υπερβολικά υψηλή πυκνότητα των θέσεων σύνδεσης. Τα παραπάνω χαρακτηριστικά σε συνδυασμό παράγουν ένα υλικό με γρήγορη κινητική, υψηλή φόρτωση υλικών και εξαιρετική επιλεκτικότητα-εκλεκτικότητα. Τόσο το μονόστρωμα όσο και τα μεσοπορώδη υποστηρίγματα είναι δυνατό να προσαρμοστούν σε μία συγκεκριμένη εφαρμογή. Για παράδειγμα, η δραστική ομάδα στο ελεύθερο άκρο του μονοστρώματος μπορεί να σχεδιαστεί για να συνενώσει επιλεκτικά συγκεκριμένα μόρια ενώ το μέγεθος των πόρων, το μήκος του μονοστρώματος και η πυκνότητα είναι δυνατό να προσαρμοστούν για να δώσουν στο υλικό συγκεκριμένες διαχεόμενες και κινητικές ιδιότητες.

Εικόνα 1. SAMMS is a Hybrid of Two Frontiers of Materials Science: Self-Assembly Techniques and Mesoporous Materials.



Τροποποιημένοι Τύποι

Υπάρχει η δυνατότητα να κατασκευαστούν πολλαπλοί τύποι SAMMS με την προσκόλληση διαφορετικών λειτουργικών ομάδων στο μονοστρωματικό σημείο επαφής. Οι δραστικές ομάδες που έχουν εξεταστεί μέχρι σήμερα επέτρεψαν την ανάληψη σκληρών και μαλακών στοιχείων μετάπτωσης, πολύτιμα μέταλλα, ακτινίδες και ανιόντα από υγρά. Στον Πίνακα 1 παρουσιάζονται ορισμένοι από τις λειτουργικές ομάδες και την επιλεκτικότητά τους.

Πίνακας 1. SAMMS® Functional Form and Affinities

<u>SAMMS Form</u>	<u>High Affinity</u>	<u>Poor or No Affinity</u>
Thiol- SAMMS	Hg, Ag, Au, Cu, Cd,Pb	Group 1A (H, Li, Na, K, Rb, Cs, Fr), Group 2A (Be, Mg, Ca, Sr, Ba, Ra), Zn, Al
Chelate- SAMMS (1)	Cu, Ni, Co, Zn, etc.	Group 1A and 2A cations (except H ⁺)
Anion- SAMMS (2)	Chromate, Arsenate, etc.	SO ₄ ²⁻ , Cl ⁻ , NO ₃ , etc.
<u>HOPO- SAMMS (3)</u>	<u>Am, Np, Pu, Th, U</u>	<u>Group 1A, 2A, transition metal cations</u>

(1) Functionalized with metal-chelating ligand
(2) Chelated metal complex
(3) Hydroxypyridinone ligands for actinide removal

Το Thiol – SAMMS είναι το πιο προηγμένο συγκριτικά με το επίπεδο ανάπτυξης και κατανόησης. Υπάρχουν στοιχεία περί επιλεκτικότητας, ισοθερμίας, κίνησης, σταθερότητας και αναμόρφωσης του thiol-SAMMS που είναι διαθέσιμα για διάφορους τύπους μετάλλων. Οι τύπου chelate – SAMMS, anion-SAMMS και HOPO-SAMMS παρουσιάζουν την ίδια θετική ανάπτυξη · εδώ παρουσιάζονται πρόσφατα αντιπροσωπευτικά αποτελέσματα. Για λόγους σαφήνειας και απλούστευσης θα αναλυθούν πρωτίστως τα τεχνικά αποτελέσματα του thiol-SAMMS.

Thiol-SAMMS

Το thiol-SAMMS δημιουργήθηκε συγκεκριμένα για την αφαίρεση υδραργύρου από υγρά μέσα (τόσο υδατικά όσο και μη υδατικά). Το thiol-SAMMS έχει επιδείξει τη μοναδική ικανότητα να συνενώνει κατιονικούς, οργανικούς, μεταλλικούς και περίπλοκους τύπους υδραργύρου. Εξαιτίας της υψηλής επιφάνειας, της υψηλής συγκέντρωσης θέσεων σύνδεσης και της προσαρμοσμένης δράσης, τα αποτελέσματα των δειγμάτων με υδράργυρο παρουσιάζουν υψηλή φόρτωση (μέχρι και 3635 mg Hg/g SAMMS), υψηλή έλξη (συντελεστής κατανομής, ή $K_d \sim 1 \times 10^8$) και ταχύτερη κινητική

της ρόφησης (λεπτά)· όλα τα παραπάνω έγιναν εφικτά μέσω της χρήσης αυτών των μοριακά σχεδιασμένων υλικών. Η αποδοτικότητα του thiol-SAMMS στην αφαίρεση του Hg από ένα μη υδατικό σύστημα (π.χ., λάδι για αντλίες κενού) έχει παρουσιάσει τα ίδια εξαιρετικά αποτελέσματα με τον υδράργυρο. Η έλξη σύνδεσης του thiol-SAMMS για επιλεγμένα είδη μετάλλων παρουσιάζεται συνοπτικά στον Πίνακα 2, περιλαμβάνοντας για το κάθε είδος την εισρέουσα και εκρέουσα συγκέντρωση, το επίπεδο φόρτωσης και τη K_d . Τα αποτελέσματα δείχνουν ότι το thiol-SAMMS μπορεί να απορροφήσει επιλεκτικά, σε συνδυασμό με τον υδράργυρο, άλλα μαλακά όξινα κατιόντα LEWIS (π.χ., Ag, Cd, Cu, και Pb). Σε όλες τις περιπτώσεις, το thiol-SAMMS παρουσιάζει ελάχιστη παρεμβολή αλκαλίου σε μέταλλα αλκαλικών γαιών, όπως το Na^+ , Mg^{2+} , και Ca^{2+} .

Πίνακας 2. Binding Affinity of Thiol-SAMMS[®] for Selected Metal Species

	C_i ($\mu\text{g/L}$)	C_f ($\mu\text{g/L}$)	Loading (mg/g)	K_d (mL/g)
Ag(I)	90	1	0.0089	8900
Ca(II)	2070	2070	0	0
Cd(II)	4670	32	0.4638	14467
Co(II)	2810	2670	0.0140	5
Cu(II)	2240	<5	>0.2235	>44700
Eu(III)	9010	1220	0.7790	639
Hg(II)	487	0	1.0146	1×10^8
Mg(II)	1580	1580	0	0
Pb(II)	3040	300	0.2740	913
Zn(II)	2790	2410	0.0380	16

Ισόθερμες Προσρόφησης Στοιχείων για τα στοιχεία Hg, Ag, Cd, Cu, και Pb

Έχουν συγκεντρωθεί ισοθερμικά στοιχεία προσρόφησης για τα Hg, Ag, Cd, Cu, και Pb με τη χρήση του thiol-SAMMS. Τα πιο λεπτομερή στοιχεία έχουν αποκτηθεί για το Hg, τα οποία καλύπτουν ένα μεγάλο εύρος συγκεντρώσεων διαλύματος (πολλές τάξεις μεγέθους), πολλαπλά είδη Hg και ανταγωνιστικές μελέτες για να αξιολογηθεί η επίδραση των συμπλοκοποιητών. Τα στοιχεία για τα Ag, Cd, Cu και Pb καλύπτουν ένα μικρότερο εύρος των συγκεντρώσεων σε χημική ισορροπία, και περιλαμβάνουν το pH

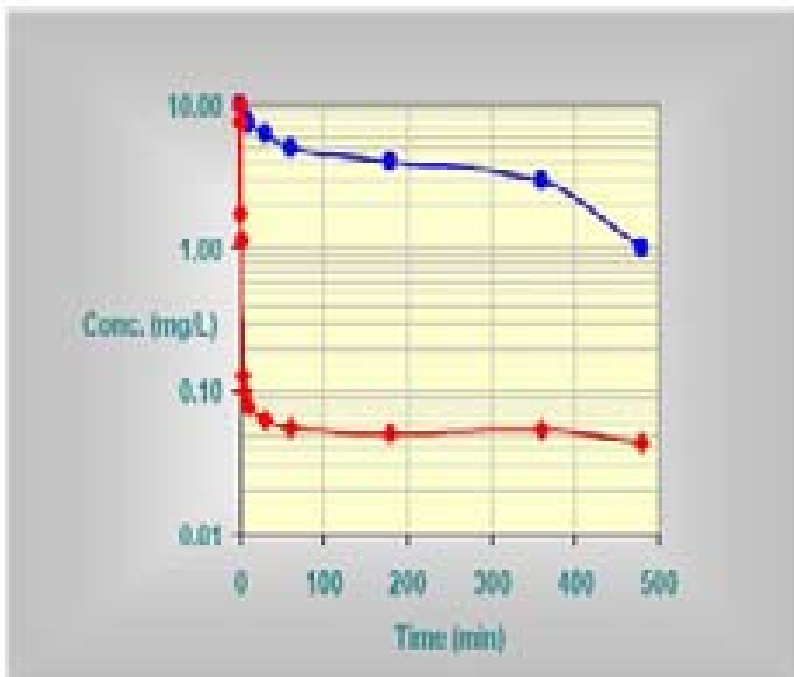
και τις επιδράσεις των συμπλοκοποιητών. Στον Πίνακα 3 παρουσιάζεται μία περίληψη της μέγιστης φόρτωσης μετάλλου.

Πίνακας 3. Maximum Metal Loading for Thiol-SAMMS®

Metal	Loading (mg/g)	Loading (mmol/g)
Ag	440	4.08
Cd	97	0.86
Cu	40	0.63
Hg	635	3.17
Pb	122	0.59

Κινητική

Τα κινητικά πειράματα που πραγματοποιούνται για την προσρόφηση υδραργύρου σε διαλύματα υδραργύρου με 10-500-ppm επιδεικνύουν την ταχεία σύνδεση της κινητικής του thiol-SAMMS. Όπως φαίνεται στην Εικόνα 2, το SAMMS μπορούσε να μειώσει ταχύτατα τη συγκέντρωση υδραργύρου από 500 ppb σε 0,5 ppb μέσα σε 5 λεπτά · για την περίπτωση των 10-ppm, η συγκέντρωση υδραργύρου μειώθηκε σε 3,1 ppb μέσα σε 5 λεπτά. Στην ίδια εικόνα απεικονίζεται η κινητική των συνδέσεων μίας εμπορικής ιοντοανταλλακτικής ρητίνης. Το thiol-SAMMS έχει υπολογιστεί ότι απορροφά 500 περίπου φορές πιο γρήγορα το Hg από ότι το πολυμερές σύστημα. Αυτήν η αναλογική διαφορά οφείλεται εξ' ολοκλήρου στην άκαμπτη και με ανοιχτούς πόρους δομή του SAMMS, η οποία επιτρέπει σε όλες τις θέσεις σύνδεσης να είναι διαθέσιμες ανά πάσα στιγμή για τη συνένωση των μεταλλικών ιόντων.



Εικόνα 1. SAMMS Mercury-Binding Kinetics in a 10,000-ppb Mercury Solution (the red line is the SAMMS kinetics profile, the blue line is for the comparable polymer-based system (GT-73)).

Επίδραση του pH και Χημικά Σύμπλοκα

Οι προαναφερθείσες δοκιμές προσρόφησης με το thiol-SAMMS έδειξαν ότι η προσρόφηση του Hg αυξήθηκε ελάχιστα παράλληλα με την αύξηση του pH του διαλύματος επαφής. Η αυξημένη προσρόφηση υποδεικνύει ότι ο ιονισμός των ομάδων της θειόλης (thiol) με την αύξηση του pH θα μπορούσε να αυξήσει την προσρόφηση του μετάλλου. Για να μελετήσουμε περαιτέρω αυτό το φαινόμενο, διεξήγαμε μία σειρά πειραμάτων για να καθορίσουμε την έκταση της εξαρτημένης προσρόφησης των Ag, Cd, Cu και Pb από το pH με τη χρήση του thiol-SAMMS. Στις συγκεκριμένες δοκιμές το pH του εξισορροπητικού διαλύματος (0,1 M NaNO₃) κυμαινόταν από ~3,1 μέχρι ~8,5. Ως αποτέλεσμα της κατακρήμνισης του μετάλλου, τα πειράματα προσρόφησης για το Cu και το Pb δεν ήταν δυνατό να διεξαχθούν για τιμές του pH ~5,2 και ~6,7 αντίστοιχα. Τα αποτελέσματα δείχνουν ότι το Ag απορροφήθηκε πλήρως από το thiol-SAMMS με πολύ υψηλή συγγένεια (K_d) σε όλες τις τιμές του pH. Αντιθέτως, οι πυκνότητες προσρόφησης του Cd, Cu(II), και Pb ήταν χαμηλές στη χαμηλότερη τιμή του pH (~3,1) και, όπως προβλέφθηκε, αυξήθηκε παράλληλα με την αύξηση του pH. Η αυξημένη προσρόφηση αυτών των μετάλλων στο υψηλότερο pH αντανακλάται και στις αυξήσεις μίας ή δύο τάξεις μεγέθους στις τιμές του K_d .

Η διεξαγωγή εξετάσεων με σχηματισμό πρότυπων οργανικών συμπλόκων (αμμωνία, αιθυλενοδιαμινοτετραοξικό οξύ (EDTA), κυανιούχο άλας και φουλβικό οξύ) έγινε με στόχο την αξιολόγηση των χαρακτηριστικών προσρόφησης του thiol-SAMMS με διαλύματα που περιέχουν 1:1 σύμπλοκα υδραργύρου-. Τα σύμπλοκα υδραργύρου αυτών των συμπλόκων δε σημείωσαν καμία αρνητική επίδραση στην ικανότητα του thiol-SAMMS να ενώθει με τον υδράργυρο. Τα οργανικά σύμπλοκα που είναι παρόμοια με τα πρότυπα σύμπλοκα αναμένονται να έχουν μικρή σχετικά επίδραση στην προσρόφηση του SAMMS. Παρόμοια αποτελέσματα σημειώθηκαν με τα ανόργανα πολυμερή υδραργύρου (π.χ., χλωρίδιο, ιωδίδιο).

Για τα λοιπά μεταλλικά ιόντα, τα πειράματα διεξήχθησαν με EDTA εξαιτίας της ιδιότητάς του να προσδένει τα μέταλλα και της εκτεταμένης βιομηχανικής του χρήσης. Η αναλογία μοριακής συγκέντρωσης του συμπλόκου στο μέταλλο στα συγκεκριμένα πειράματα κυμαινόταν από 0,65 μέχρι 2,3. Τα στοιχεία από τα πειράματα με το EDTA δείχνουν ότι το σταθερό pH, η έκταση προσρόφησης αυτών των μετάλλων επηρεάζεται τόσο από το βαθμό που συμπλέκονται όσο και από τη σχετική σταθερότητα των αντίστοιχων EDTA πολυμερών. Επειδή το μικρό ποσοστό συμπλοκής του Ag ήταν αναμενόμενο, δε σημειώθηκαν διαφορές στην προσρόφηση του Ag με ή χωρίς το EDTA στα εξισορροπητικά διαλύματα. Η συμπλοκή του EDTA δε φαίνεται να ελαττώνει την προσρόφηση του Cd από το thiol-SAMMS.

Ωστόσο, η προσρόφηση του Cu μειώθηκε σημαντικά με την παρουσία του EDTA. Ο σχηματισμός σταθερών πολυμερών Pb-EDTA καταστέλλει την προσρόφηση του Pb.

Απόδοση των πολλαπλών μετάλλων

Η αποτελεσματικότητα του thiol-SAMMS στην αφαίρεση των πολλαπλών μετάλλων από ένα μεικτό διάλυμα αποδείχθηκε πρόσφατα. Σε ένα πλέγμα (matrix) του 0,1 M NaNO₃ παρασκευάστηκε ένα διάλυμα που περιείχε Ag, Cd, Cu και Pb, το καθένα από 0,05 mmol/L (~5, ~6, ~3, και ~10 ppm, αντίστοιχα). Το διάλυμα εξισορροπήθηκε με τη διάχυση thiol-SAMMS σε ποικίλες αναλογίες διάλυμα προς στερεό και ποίκιλε από 250 μέχρι 5000. Η προσρόφηση του μετάλλου υπολογίστηκε μέσω υπολογισμένων εξισορροπητικών συγκεντρώσεων. Το μέρος των μετάλλων που αφαιρέθηκε είναι το ακόλουθο: Ag ≅ Cu > Cd > Pb.

- Ο χαλκός αφαιρέθηκε από 3 ppm μέχρι <8 ppb ($K_d = 1,5 \times 10^4$)
- Ο άργυρος από 5 ppm μέχρι <2ppb ($K_d = 2,5 \times 10^4$)

- Το κάδμιο από 6 ppm μέχρι 0,2 ppm ($K_d = 8,1 \times 10^3$)
- Ο μόλυβδος από 10 ppm μέχρι <1 ppm ($K_d = 4,7 \times 10^3$)

Αυτά τα αποτελέσματα δείχνουν ότι το SAMMS μπορεί να αφαιρέσει ταυτόχρονα και αποτελεσματικά πολλαπλά μέταλλα από ένα πολυμερές πλέγμα που περιείχε πολλαπλά μέταλλα.

Ανάκτηση Πολύτιμων Μετάλλων

Τα προκαταρκτικά στοιχεία έδειξαν ότι το thiol-SAMMS είναι εξίσου αποτελεσματικό στην ανάκτηση πολύτιμων μετάλλων, όπως τα Au, Ag, Pd, και Pt από υδάτινα μέσα. Το thiol-SAMMS παρουσιάζει πολύ υψηλότερη συνδετική έλξη μετάλλων και χωρητικότητα σε σύγκριση με τον άνθρακα που χρησιμοποιείται πολύ συχνά. Το thiol-SAMMS που κατασκευάστηκε με την ακολουθία της μεθοδολογίας ενός υγρού υπέρ του κρίσιμου σημείου (SCF) έδειξε υψηλότερη πυκνότητα του σιλάνιου, χαμηλότερη πυκνότητα ελαττώματος και εξαιρετική σταθερότητα απέναντι σε αλκαλικές συνθήκες. Ως αποτέλεσμα, είναι δυνατό να εφαρμοστούν αυτές οι απορροφητικές ουσίες στην ανάκτηση πολύτιμων μετάλλων στη βιομηχανία μεταλλεύσεων.

Σταθερότητα

Το SAMMS έχει επίσης υποβληθεί σε δοκιμασίες χημικές και φυσικές δοκιμές. Το SAMMS που φορτώθηκε με υδράργυρο παρέμεινε σταθερό κατά την έκθεση σε θερμοκρασίες της τάξεως των 150°C στον αέρα μέχρι και για 50 ώρες (δεν απελευθερώθηκε καθόλου Hg), και μέχρι τους 70°C σε νερό για 24 ώρες (το Hg που απελευθερώθηκε ισοδυναμεί με το ~0,4% του Hg που απορροφήθηκε). Το SAMMS που φορτώθηκε με Hg έχει υποβληθεί και στις δοκιμές Environmental Protection Agency's Toxic Characteristic Leaching Procedure Tests (TCLP). Οι απελευθερώσεις για αυτά τα μέταλλα τύπου RCRA ήταν δύο τάξεις μεγέθους κάτω από τα πρότυπα της EPA. Επομένως, τα φορτωμένα υλικά του thiol-SAMMS είναι δυνατό να διευθετηθούν ως συμβατικά απόβλητα. Αναμένουμε παρόμοια συμπεριφορά και από τα υπόλοιπα φορτωμένα μέταλλα του thiol-SAMMS (π.χ., Ag, Cu). Για το μέλλον σχεδιάζονται δοκιμές σταθερότητας για τις λοιπές γεύσεις του SAMMS. Τέλος, το SAMMS είναι ανθεκτικό στη βιοαποικοδόμηση, καθώς το μέγεθος των πόρων των μεσοποροδών υποστηριγμάτων είναι πολύ πιο μικρό για να επιτρέψει την πρόσβαση στα βακτήρια

που θα μπορούσαν να μεταβολίσουν και να απελευθερώσουν δεσμευμένα μέταλλα στο περιβάλλον.

Αναγέννηση

Οι συνθήκες υπό τις οποίες το SAMMS είναι δυνατό να αναγεννηθούν εξαρτώνται από τη φύση του συνδέσμου μετάλλου – συμπλόκου που σχηματίζεται μεταξύ του SAMMS και του αναλυτή – στόχου. Δείξαμε ότι το thiol- SAMMS φορτωμένο με Hg είναι δυνατό να αναγεννηθεί με τη χρήση ενός απλού HCl rinse. Αποδείχθηκε ότι μία παρόμοια ταινία οξέος είναι το ίδιο αποτελεσματική με τους τύπους του καρβοξυλικού οξέος του SAMMS χρησιμοποιούνται για να συνδέσουν τις λανθανίδες (π.χ., Gly-UR-SAMMS), και αυτά τα υλικά έχουν αποδειχθεί ότι μπορούν να αντέξουν σε πάνω από δώδεκα κύκλους αναγέννησης χωρίς καμία απώλεια της δραστηριότητας της απορροφητικής ουσίας. Η αναγέννηση της απορροφητικής ουσίας του καΐσιου (όπως σιδηροκυανούχο SAMMS) είναι δυνατό να επιτευχθεί με την οξείδωση του σιδηροκυανούχου κέντρου στην κατάσταση της σιδηροκυανούχας οξείδωσης και στην πλύση των Cs από την απορροφητική ουσία, και ακολούθως με τη μείωση του κέντρου του Fe(III) πίσω στο Fe (II). Η αναγέννηση των άλλων τύπων του SAMMS θα πρέπει να είναι το ίδιο εφικτή υπό συνθήκες κατάλληλες για αυτήν τη συγκεκριμένη διάταξη του συνδέσμου μετάλλου – συμπλόκου.

Chelate-SAMMS

Η έρευνα και η ανάπτυξη είναι συνεχόμενη στην προετοιμασία και τις δοκιμασίες των μετάλλων – chelating SAMMS. Οι χηλικές λειτουργικές ομάδες (όπως η EDA, αιθυλενοδιαμινοτριξικό οξύ, 1, 10- φαινανθρολίνη, HOPO, κλπ) προσκολλώνται στην επιφάνεια των μεσοποροδών υλικών με τη χρήση παρόμοιων χημικών διαδικασιών, όπως χρησιμοποιείται κατά την προετοιμασία του thiol-SAMMS. Η χηλική ομάδα προσαρμόζεται σύμφωνα με το μέταλλο-στόχος · για παράδειγμα, το EDA για τον Cu και το HOPO για τις ακτινίδες. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι η επιλεκτική αφαίρεση των μεταλλικών ιόντων είναι δυνατό να επιτευχθεί με διάφορους τύπους χηλικό – SAMMS, ενώ η έρευνα είναι συνεχιζόμενη με στόχο τη βελτίωση της σύνθεσης και των μεταλλικών φορτίων.

Ανιόν – SAMMS

Έχουμε συνθέσει και παρουσιάσει τη χρήση των κατιονικών μεταλλικών πολυμερών, τα οποία ακινητοποιούνται στα μεσοπορώδη πυριτία, όπως στα υλικά ενός καινοτόμου συνδέσμου ανιόντων για τοξικά ανιόντα, όπως χρωμικό, αρσενικό, και υπερτεχνητικό τεχνητίο. Αυτήν η προσέγγιση επιτρέπει τη δομή των θέσεων σύνδεσης που ικανοποιούν τις στερεοηλεκτρονικές απαιτήσεις των τετραεδρικών ανιόντων, και παράλληλα επιτρέπει την άμεση αλληλεπίδραση μετάλλου – ανιόντος. Αυτά τα SAMMS είναι δυνατό να αφαιρέσουν τα οξομεταλλικά ανιόντα, όπως το χρωμικό και το αρσενικό σε χαμηλά επίπεδα, ακόμη και υπό την παρουσία μεγάλων ποσοτήτων ιόντος θειικής ένωσης. Υπό την παρουσία των παρεμβαλλόμενων ανιόντων για διαλύματα που περιέχουν μέχρι και 100 ppm τοξικά μεταλλικά ανιόντα επιτεύχθηκε η σχεδόν ολοκληρωτική αφαίρεση του αρσενικού και χρωμικού υπό διάφορες συνθήκες. Αυτά τα ανιόν – SAMMS υλικά παραμένουν αποτελεσματικά σε διαλύματα με ακόμα υψηλότερες συγκεντρώσεις (περισσότερα από 100-ppm ανιόντα). Έχει παρατηρηθεί φόρτωση ανιόντων πάνω από 130mg/g (1.12 mmol/g) του SAMMS και κατανομή των συντελεστών πάνω από 100.000 για το χρωμικό ανιόν. Αυτές οι ιδιότητες είναι συγκρίσιμες με την απόδοση του thiol-SAMMS. Οι δοκιμές αφαίρεσης του ανιόντος πραγματοποιήθηκαν σε νερό που περιείχε 1-, 10-, και 100-ppm αρσενικό και χρωμικό με μία αναλογία νερό προς απορροφητική ουσία (SAMMS) των 100. Στην πραγματικότητα, σε καθεμία από αυτές τις δοκιμές αφαιρέθηκε πλήρως το χρωμικό με μία μόνο εφαρμογή. Η παρουσία ανταγωνιστικών ανιόντων θειικής ένωσης (στα 150 ppm) είχε αμελητέα επίδραση στο σύνδεσμο του χρωμικού. Στην ίδια αναλογία διάλυμα προς απορροφητική ουσία (100 mL/g), οι συγκεντρώσεις χρωμικού που είναι υψηλότερες από 1000 ppm άρχισαν να εμποτίζουν τις θέσεις σύνδεσης. Για μία υψηλότερη αναλογία διαλύματος προς πυριτικό ανυδρίτη (500 mL/g), παρατηρείται 100% αφαίρεση του chromate για συγκεντρώσεις χρωμικού μέχρι και 100 ppm.

Παρόμοια είναι τα αποτελέσματα που παρατηρήθηκαν με την αφαίρεση του αρσενικού. Η μέγιστη δυνατότητα φορτίου είναι 140 mg/g ή 1.00 mmol/g. Υπό τις ίδιες συνθήκες, οι εναπομείναντες συγκεντρώσεις σε αρσενικό είναι όλες ελαφρώς υψηλότερες από το χρωμικό σε χαμηλές συγκεντρώσεις ανιόντος. Αυτό υποδεικνύει ότι η Cu-EDA συνθετική ένωση μπορεί να είναι κάπως πιο πυκνή για το χρωμικό από το αρσενικό κάτω από αυτές τις συνθήκες. Τα αποτελέσματα των δοκιμών παρουσιάζονται συνοπτικά παρακάτω:

- Τα υλικά ανιόν – SAMMS είναι αποδοτικά συνδετικά υλικά οξομεταλλικών ανιόντων. Είναι δυνατό να επιτευχθεί ολοκληρωτική αφαίρεση του οξομεταλλικού ανιόντος για ένα μεγάλο εύρος συγκεντρώσεων.

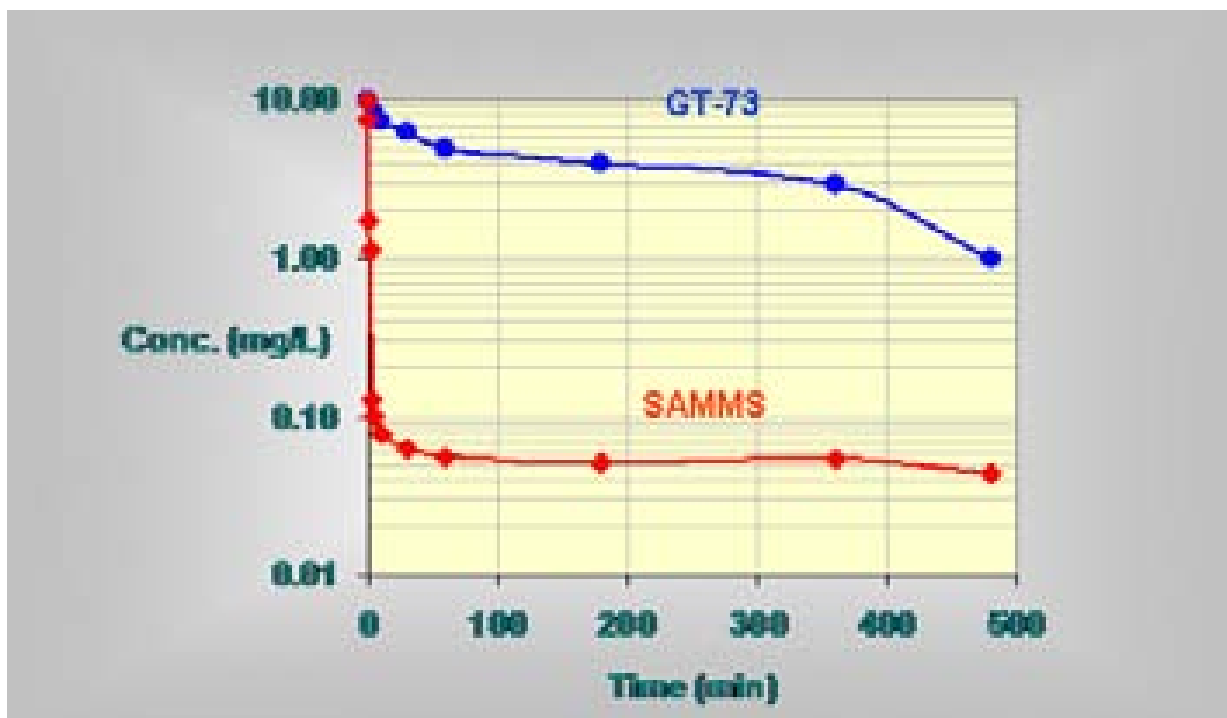
- Τα οξικά ανιόντα (χρωμικό και αρσενικό) είναι επιλεκτικά δεσμευτικά επί των θεικών ενώσεων.
- Οι χαμηλές συγκεντρώσεις του χρωμικού και αρσενικού μπορούν να αφαιρεθούν από υψηλές συγκεντρώσεις θεικής ένωσης.
- Η συνθετική χημεία είναι πιο ευαίσθητη για το χρωμικό από ότι για το αρσενικό σε χαμηλές συγκεντρώσεις. [68,69,70,71]

Πίνακας 1. Ικανότητα δέσμευσης - Συγγένεια της θειόλης SAMMS για επιλεγμένα μέταλλα.

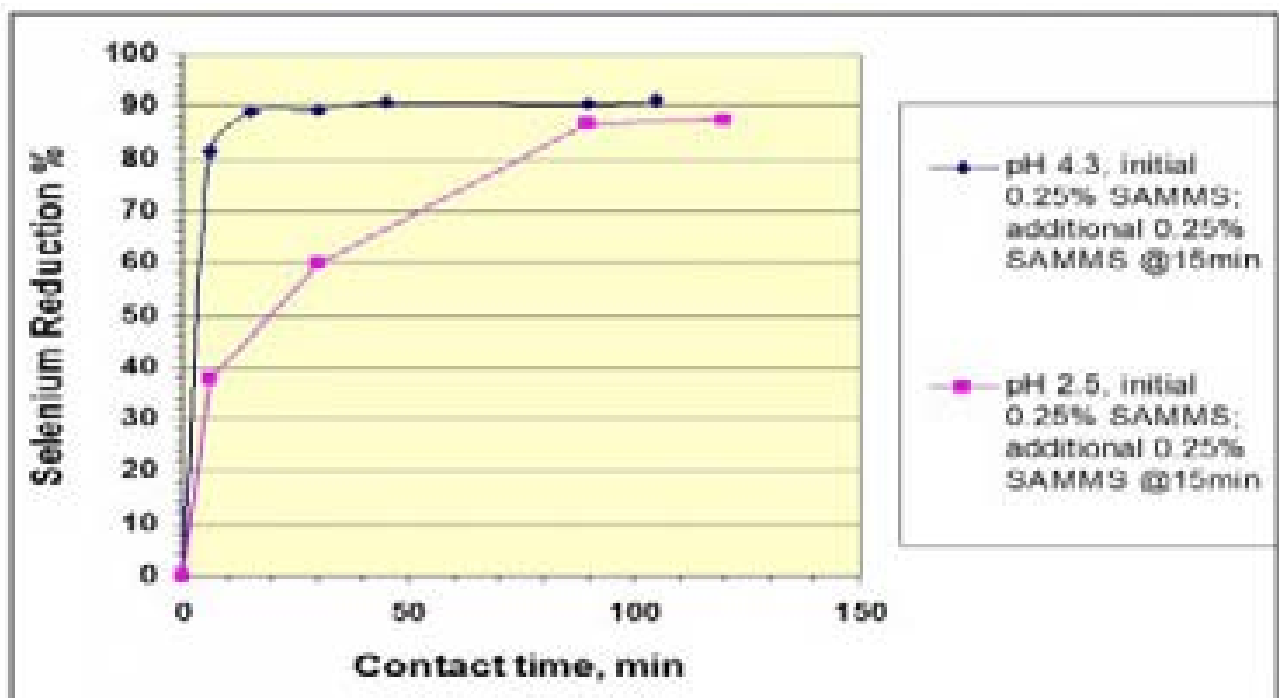
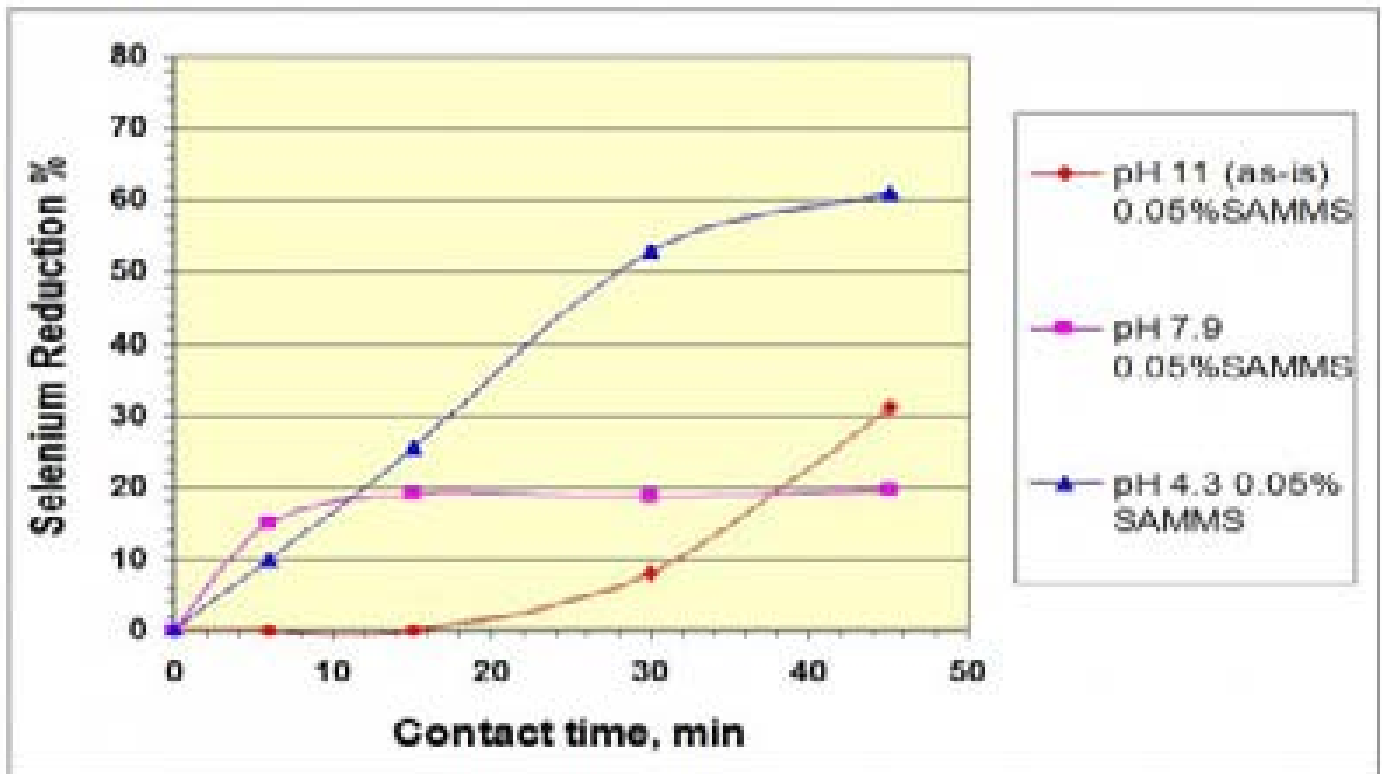
Metal	Initial Concentration ($\mu\text{g/L}$)	Final Concentration ($\mu\text{g/L}$)	Metal Loading (mg/g)	Distribution Coefficient (K_d) (mL/g)
Ag(I)	90	1	0.0089	8900
Ca(II)	2070	2070	0	0
Cd(II)	4670	32	0.4638	14467
Co(II)	2810	2670	0.0140	5
Cu(II)	2240	<5	>0.2235	>44700
Eu(III)	9010	1220	0.7790	639
Hg(II)	487	0	1.0146	1×10^8
Mg(II)	1580	1580	0	0
Pb(II)	3040	300	0.2740	913
Zn(II)	2790	2410	0.0380	16

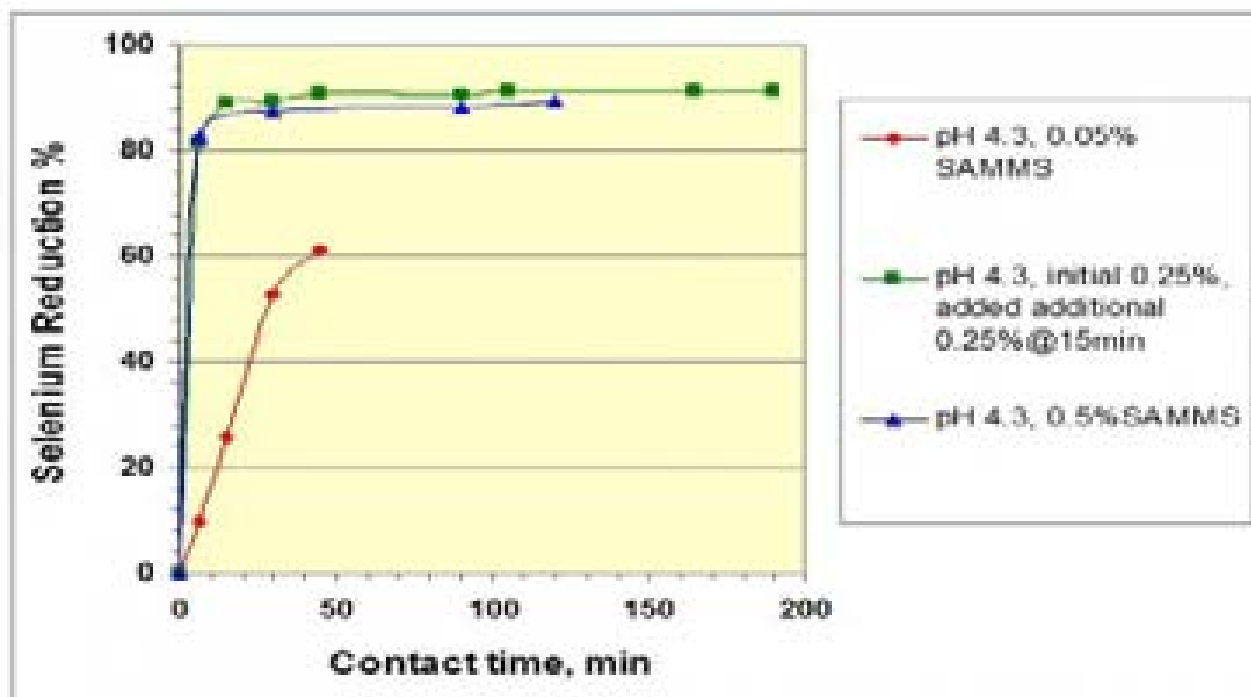
Πίνακας 2. Μέγιστο μεταλλικό φορτίο Thiol-SAMMS™.

Metal	Loading (mg/g)	Loading (mmol/g)
Ag	440	4.08
Cd	97	0.86
Cu	40	0.63
Hg	635	3.17
Pb	122	0.59



Κινητική: όπως φαίνεται στο παραπάνω σχήμα η θειόλη SAMMS μείωσε γρήγορα τη συγκέντρωση του υδράργυρου από 500 ppb σε 0,5 ppb μέσα σε 5 λεπτά





Time (min)	Selenium Reduction %			Standard Deviation
	Run #1	Run #2	Average	
0	0	0	0	0
6	81	79	80	1
15	89	88	88	1
30	89	84	86	4
45	91	85	88	4
90	91	85	88	4

Συμπεράσματα :

Η αποτελεσματικότητα του THIOL-SAMMS για την μείωση του σεληνίου ενισχύθηκε με την μείωση του pH. Όταν το pH έχει τιμή 11 και η συγκέντρωση THIOL-SAMMS είναι 0,05% η THIOL-SAMMS απορροφά το 30% του σεληνίου σε 45 λεπτά. Μειώνοντας το pH στο 4,3 μειώθηκε επιπλέον 30% η συγκέντρωση του

σεληνίου. Η αύξηση της συγκέντρωσης της θειολης SAMMS αύξησε και την ικανότητα της να προσροφάτε στο σελήνιο .Συγκεκριμένα όταν η συγκέντρωση του THIOL-SAMMS αυξήθηκε από 0,05% σε 0,25% παρατηρήθηκε μείωση της συγκέντρωσης του σεληνίου από 60% σε 90% [68,69,70,71].

ΗΛΕΚΤΡΙΚΗ ΑΓΩΓΙΜΟΤΗΤΑ

Η **ηλεκτρική αγωγιμότητα** (electrical conductance) εκφράζει την ευκολία με την οποία το [ηλεκτρικό ρεύμα](#) περνάει μέσα από κάποιο *αντικείμενο* και αποτελεί το δυαδικό μέγεθος της [ηλεκτρικής αντίστασης](#). Εξαρτάται γενικά από την **ειδική αγωγιμότητα** του υλικού, και τη γεωμετρία του αντικειμένου.

Η μονάδα μέτρησης της αγωγιμότητας σύμφωνα με το [Διεθνές σύστημα μονάδων](#) (SI) είναι το [Siemens](#). Οι Αγγλοσάξωνες συνηθίζουν να χρησιμοποιούν για την

μέτρηση της αγωγιμότητας και την μονάδα mho ([U](#)), η οποία προκύπτει από την

αντιστροφή των γραμμάτων της μονάδας μέτρησης της ηλεκτρικής αντίστασης. Η ηλεκτρική αγωγιμότητα δίνεται αριθμητικά εάν διαιρέσουμε την [ένταση του ρεύματος](#) που διαρρέει ένα αντικείμενο (σε amperes) προς την [διαφορά δυναμικού/τάση](#) που εφαρμόζεται στα άκρα του (σε volts). Πρόκειται δηλαδή για ένα μέγεθος αντίστροφο της [ηλεκτρικής αντίστασης](#). Ο αντίστοιχος τύπος είναι:

$$G = \frac{1}{R} = \frac{I}{V}$$

όπου:

G: Η αγωγιμότητα που εμφανίζει το αντικείμενο (σε Siemens)

R: Η αντίσταση που εμφανίζει το αντικείμενο (σε ohms)

V: Η διαφορά δυναμικού που εφαρμόζεται στα άκρα του αντικειμένου (σε volts)

I: Η ένταση του ρεύματος που διαρρέει το αντικείμενο (σε amperes) [72].

ΕΙΔΙΚΗ ΑΓΩΓΙΜΟΤΗΤΑ

Η **ειδική αγωγιμότητα** ([electrical conductivity](#)) είναι μέτρο της ευκολίας ή δυσκολίας με την οποία άγεται ηλεκτρικό ρεύμα δια μέσω κάποιου *υλικού*. Η μονάδα μέτρησης της ειδικής αγωγιμότητας είναι το [Siemens](#) ανά [μέτρο](#) ($S \cdot m^{-1}$) [72].

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] Έκθεση Brundtland (1987) και «αιφόρος ανάπτυξη»
- [2] Αειφόρος ή βιώσιμη ανάπτυξη ορισμοί
- [3] Βιώσιμη Ανάπτυξη και Βιωσιμότητα
- [4] Αειφόρος Ανάπτυξη – Βικιπαίδεια Μετάφραση
- [5] Sustainability διατηρησιμότητα, αειφορία βιωσιμότητα
- [6] Πράσινη Χημεία: Βασικός παράγοντας της Βιώσιμης Ανάπτυξης, Κων/ντίνος Πούλος, Καθηγητής Οργανικής Χημείας και Πρόεδρος του Τμήματος Χημείας του Πανεπιστημίου Πατρών
- [7] 1^ο Πανελλήνιο Συμπόσιο Πράσινη Χημεία και Βιώσιμη Ανάπτυξη. Εισαγωγή της Πράσινης Χημείας στην Δευτεροβάθμια και Τριτοβάθμια Εκπαίδευση, Κων./ντίνος Πούλος, Τμήμα Χημείας του Πανεπιστημίου Πατρών
- [8] Το πείραμα στη Μέση Εκπαίδευση, Πράσινης Χημεία και Εκπαίδευση, Πουλιόπουλος Πούλος, Χημικός
- [9] Η Πράσινη Χημεία στην Ελλάδα, Ομάδα Πράσινης Χημείας, Τμήμα Χημείας του Πανεπιστημίου Πατρών
- [10] Ίδρυση Ελληνικού Δικτύου Πράσινη Χημεία
- [11] Green Chemistry-Wikipedia the free encyclopedia
- [12] ACS Green Chemistry Institute
- [13] Twelve Principles of Green Chemistry/US EPA

[14] 1^ο Πανελλήνιο Συμπόσιο Χημεία και Βιώσιμη Ανάπτυξη, Πράσινη Χημική Τεχνολογία/Μηχανική, Περιβαλλοντικός Σχεδιασμός Παραγωγικών Διαδικασιών, Α.Ι. Ζουμπούλης και Γ. Τράσκαας

[15] Design through the 12 Principles of Green Engineering

[16] Green Engineering, Process Safety and Inherent Safety, A New Paradigm. David R. Schonard Ph.D. Department of Chemical Engineering Michigan Technological University Hui Chen, PHD Chemical and Materials Engineering Arizona State University

[17] Green Nanotechnology it easier than you think, Woodrow Wilson, International Center for scholars Project on Emerging Nanotechnologies

[18] UNESCO, 2006.The ethics and politics of Nanotechnology. Published by the United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization. 7, place de Fontenoy, 75352 PARIS 07 SP

[19] Wikipedia, 2008. Wikimedia Foundation, Inc. <http://www.wikipedia.com>

[20] http://www.nano.gr/nanotechnology_history.asp

[21] <http://www.physics4u.gr/articles/2002/nanotechnology.html>

[22] Μυρτσιώτη, Γ. 2007. Η νανοτεχνολογία αλλάζει τη ζωή μας. Εφημερίδα Καθημερινή
http://news.kathimerini.gr/4dcgi/_w_articles_ell_2_05/08/2007_236605

[23] <http://www.certh.gr/FB1F6CF6.el.aspx>

[24] <http://ekfe.reth.sch.gr/index.php?option=content&task=view&id=340>

[25] ΤΣΩΛΗ, Θ. 2008. NANOTΡΟΦΙΜΑ ΕΙΣΒΑΛΛΟΥΝ ΣΤΟ ΠΙΑΤΟ ΜΑΣ. ΕΦΗΜΕΡΙΔΑ ΚΑΘΗΜΕΡΙΝΗ, ΑΡ. ΦΥΛΛΟΥ 15289, LAMBRAKIS PRESS

[26] ΕΦΗΜΕΡΙΔΑ ΚΑΘΗΜΕΡΙΝΗ, 2004. NANOTEΧΝΟΛΟΓΙΑ: ΤΑ ΠΡΟΪΟΝΤΑ ΤΗΣ, ΑΡ. ΦΥΛΛΟΥ 14321, LAMBRAKIS PRESS

[27] ΛΑΪΝΑΣ, Θ. 2003. Η ΗΘΙΚΗ ΤΩΝ ΝΑΝΟΡΟΜΠΙΟΤ. ΕΦΗΜΕΡΙΔΑ ΚΑΘΗΜΕΡΙΝΗ, ΑΡ. ΦΥΛΛΟΥ 13809, ΣΕΛ.: Η06, LAMBRAKIS PRESS

[28] Φαφούτη, Α. 2008. Τα νανοσπίτια του μέλλοντος., Κωδικός άρθρου: B15328H061, Lambrakis Press

http://tovima.dolnet.gr/print_article.php?e=B&f=15328&m=H06&aa=1

[29] <http://www.oikologio.gr/content/view/1323/5/>

[30] Εφημερίδα Καθημερινή, 2008. Ένα δυναμικό ταξίδι στη Νανοτεχνολογία. Αρ. Φύλλου 15284, Σελ D08, Lamprakis Press

[31] Whitesides, G. M. 2001. The once and future nanomachine. *Scientific American*, Vol. 285, No. 3, September, pp. 78-83.

[32] Roco, M. C. and Bainbridge, W. S. 2003. *Converging Technologies for Improving Human Performance: Nanotechnology, biotechnology, information technology and cognitive science*. Boston, Mass., Kluwer Academic Publishers.

[33] N. Tanigutsi «Σχετικά με τη βασική έννοια της Νανοτεχνολογίας» Proc. Intl. Conf. Prod. Eng. Tokyo, Part II, Japan Society of Precision Engineering, 1984. IMHO

[34] Feynman, R. 1960. There's plenty of room at the bottom. *Engineering and Science*, Vol. 23, No. 5, February, pp. 22-36.

[35] Drexler, K. E. 1986. *Engines of Creation*. Garden City, NY, Anchor Press/Doubleday.

[36] A public and slightly acrimonious debate was carried out in December of 2003 in *Chemical and Engineering News*, Vol. 81, No. 48, pp. 37-42.

- [37] Tremblay, J.F. 2003. Fullerenes by the Ton: Mitsubishi's Frontier Carbon expects a big market for buckyballs. *Chemical and Engineering News*, Vol. 81, No. 32, pp. 13-14.
- [38] Zsigmondy, R. "Colloids and the Ultramicroscope", J.Wiley and Sons, NY, (1914)
- [39] Dukhin, A.S. and Goetz, P.J. "Ultrasound for characterizing colloids", Elsevier, 2002
- [40] Narayan RJ, Kumta PN, Sfeir C, Lee D-H, Olton D, Choi D. (2004). "Nanostructured Ceramics in Medical Devices: Applications and Prospects". *JOM* 56 (10): 38–43. [doi:10.1007/s11837-004-0289-x](https://doi.org/10.1007/s11837-004-0289-x).
- [41] Levins CG, Schafmeister CE. *The synthesis of curved and linear structures from a minimal set of monomers*. *Journal of Organic Chemistry*, 70, p. 9002, 2005. [doi:10.1002/chin.200605222](https://doi.org/10.1002/chin.200605222)
- [42] "[Applications/Products](#)". National Nanotechnology Initiative. Retrieved on 2007-10-19
- [43] "[The Nobel Prize in Physics 2007](#)". Nobelprize.org. Retrieved on 2007-10-19.
- [44] Νασιοπούλου Α. (2007), Micro & Nano Επιστημονική Εταιρεία για ανάπτυξη της Μικρο & Νανοτεχνολογίας, ΕΚΔΟΣΕΙΣ, Ενημερωτική Έκδοση Ε&Τ, τεύχος 5.
- [45] Elder, A. (2006). [Tiny Inhaled Particles Take Easy Route from Nose to Brain](#).
- [46] Weiss, R. (2008). [Effects of Nanotubes May Lead to Cancer, Study Says](#).
- [47] Nanotech's green side. Cutting waste and risk taming environmental fears
- [48] Nanotechnology today – Green chemistry can make nanotechnology mature
- [49] Want Better Nanotech? Go Green Says Oregon Professor of Chemistry, James E. Hutchison.

- [50] Can nanotechnology be green? Joel Makower February 12, 2006
- [51] Can nanotechnology be green? Barbara Karn, Japan Nanolet Bullerin 83rd Issue- November 9, 2006
- [52] Nanotechnology Boosts Green Chemistry
- [53] Richard Schrock, Robert Grubbs and Metathesis in Organic Synthesis
- [54] The Nobel Prize in Chemistry 2005
- [55] Νόμπελ στην Πράσινη Χημεία του Τάσου Σαράντη
- [56] MIT Chemistry Professor Richard Schrock win Nobel Prize
- [57] Το Βήμα 21/11/2004, σελ. 402, Η Ηθική της νανοτεχνολογίας, Κωδικός Άρθρου B143214021 ID 266473
- [58] Το Βήμα 09/2/2003, σελ. 406, Νέα Προϊόντα Νανοτεχνολογίας, Κωδικός Άρθρου B13024061 ID 2533616
- [59] Responsible Nanotechnology: Green Nanotechnology
- [60] How Green is green nanotechnology? A Corporate Perspective
- [61] Τέλος στην αιμόκαθαρση στα νοσοκομεία www.skai.gr
- [62] Nanotechnology in our world www.mahoningjvs.k12.oh.us
- [63] Η Νανοτεχνολογία ξαναχτυπά www.edra.ntua.gr
- [64] It's a small world www.theage.com.au
- [65] Η νανοτεχνολογία οδηγεί τα Mobile του μέλλοντος www.free.blogspot.com

- [66] www.daylife.com
- [67] Imparting size, shape, and composition control of materials for nanomedicine
I. Arkeu E. Euliss Julie A. Dupont, Stephanie Gratton and Joseph De Simone
- [68] http://samms.pnl.gov/sammstech_summary.pdf
- [69] <http://sammsadsorbents.com/page/what-is-samms/what-is-thiol-samms>
- [70] <http://sammsadsorbents.com/page/resource-center/case-studies/measuring-thiol-samms-effectiveness-for-adsorption-of-selenium>
- [71] <http://samms.pnl.gov/forms/thiol.stm>
- [72] Ηλεκτρική – ειδική αγωγιμότητα wikipedia
- [73] <http://www.chemlin.net/news/2007/apr2007/green-nanotechnology.htm>
- [74] <http://www.pr.com/press-release/46970>
- [75] Betzel, Clemens. Greener Nano 2009, “Talking About Nanogeneration”
<http://www.nanomagazine.co.uk/readArticle.php?id=25>
- [76] Moore, R. Greener Nano 2009, “Nanomedicine, why is it different?”
<http://www.nanomagazine.co.uk/readMedical.php?id=5&PHPSESSID=662564b0d16417203c00ebda473e1ead>
- [77] MOORE, R. GREENER NANO 2009, “SQUEEZING THE MEDICAL LABORATORY ONTO A CHIP”
[HTTP://WWW.NANOMAGAZINE.CO.UK/READMEDICAL.PHP?ID=1](http://www.nanomagazine.co.uk/readMedical.php?id=1)
- [78] Hening, R. M. On earth. “Our Silver-Coated Future” 2007,
<http://www.onearth.org/article/our-silver-coated-future>
- [79] <http://www.oikologio.gr/content/view/1323/5/>

Βιβλιογραφία φωτογραφιών 2^ο κεφαλαίου

- [2.1] www.fs.uni-lj.si/lat/EBM/strani/Untitled-1.htm
- [2.2] The Royal Society - the UK's national academy of science: web site
- [2.3] www.esf.edu/antarctica/nsf.htm
- [2.4] www.nanotech.upenn.edu/news.html
- [2.5] http://www.independent.co.uk/multimedia/archive/00081/bigQ131108_81727t.jpg
- [2.6] http://einiverse.eingang.org/ein2/archives/2004/10/feynman_is_fine_1.html
- [2.7] <http://cnx.org/content/m14504/latest/>
- [2.8] <http://lispmeister.com/blog/books/index.html>
- [2.9] UNESCO, 2006. The ethics and politics of Nanotechnology. Published by the United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization. 7, place de Fontenoy, 75352 PARIS 07 SP
- [2.10] <http://en.wikipedia.org/wiki/Nanotechnology>
- [2.11] UNESCO, 2006. The ethics and politics of Nanotechnology. Published by the United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization. 7, place de Fontenoy, 75352 PARIS 07 SP
- [2.12] <http://people.roma2.infn.it/~mbt-group/>
- [2.13] UNESCO, 2006. The ethics and politics of Nanotechnology. Published by the

United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization. 7, place de Fontenoy, 75352 PARIS 07 SP

[2.14] www3.physik.uni-greifswald.de/method/afm/eafm.htm

[2.15] www.nanotech-now.com/.../antonio-siber.htm

[2.16] <http://www.certh.gr/FB1F6CF6.el.aspx>

[2.17] Hening, R. M. On earth. “Our Silver-Coated Future” 2007,
<http://www.onearth.org/article/our-silver-coated-future>

Βιβλιογραφία φωτογραφιών παραγράφου 3.6

[3.6.1] www.greennano.org/march2008bios.html

[3.6.2] www.loe.org/.../shows.htm?programID=07-P13-00023

[3.6.3] <http://www.specialchem4coatings.com/tc/tio2/index.aspx?or=home>

[3.6.4] www.futurecarbon.de/index.php?id=51&L=2

[3.6.5] www.futurecarbon.de/index.php?id=51&L=2

[3.6.6] www.futurecarbon.de/index.php?id=51&L=2

[3.6.7] <http://electronics.howstuffworks.com/led3.htm>

[3.6.8] http://www.treehugger.com/files/2008/05/facade_in_beijing_integrates_solar_into_worlds_largest_led_display.php

[3.6.9] <http://www.nanomagazine.co.uk/readMedical.php?id=1>

[3.6.10][HTTP://WWW.NANOMAGAZINE.CO.UK/READMEDICAL.PHP?ID=5&HPSESSID=662564B0D16417203C00EBDA473E1EAD](http://www.nanomagazine.co.uk/readmedical.php?id=5&hpseSSID=662564B0D16417203C00EBDA473E1EAD)

[3.6.11] UNESCO, 2006. The ethics and politics of Nanotechnology. Published by the United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization. 7, place de Fontenoy, 75352 PARIS 07 SP