



**ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΚΡΗΤΗΣ**  
**ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΧΑΝΙΩΝ**  
**ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΗΣ**  
**ΤΟΜΕΑΣ ΤΗΛΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ**

**Πτυχιακή εργασία**

**με θέμα**

**Εισαγωγή στη Νανοτεχνολογία**

**της Σταματίας Κεχρή**

**ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ : Δρ. Κωνσταντίνος Πετρίδης**

**Χανιά, Μάιος 2014**

## **ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ**

Αρχικά θα ήθελα να ευχαριστήσω τον καθηγητή μου Δρ. Κωνσταντίνο Πετρίδη για την εμπιστοσύνη που έδειξε στο πρόσωπό μου καθώς και για την ευκαιρία που μου έδωσε να ασχοληθώ κατά τη διάρκεια της πτυχιακής μου με ένα πραγματικά τόσο ενδιαφέρον θέμα. Η αίσθηση επικοινωνίας, στήριξης και συνεργασίας ήταν καθοριστική για την πορεία της εργασίας.

Βεβαίως, θα ήθελα να εκφράσω την ευγνωμοσύνη μου στην οικογένειά μου, που με στήριζε συνεχώς, ηθικά και υλικά, κατά τη διάρκεια των σπουδών μου στο Τεχνολογικό Εκπαιδευτικό Ίδρυμα Κρήτης και χωρίς τη βοήθεια της οποίας δε θα είχα καταφέρει να υλοποιήσω όσα έχω μέχρι σήμερα επιτύχει.

Τέλος, ευχαριστώ όλους τους στενούς φίλους μου και τα άτομα εμπιστοσύνης μου για την αδιάκοπη συμπαράσταση και εμπύχωση που μου παρείχαν σε κάθε στάδιο της πορείας μου.

# ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στην παρούσα πτυχιακή εργασία παρουσιάζεται εκτενώς η έννοια της επιστήμης της Νανοτεχνολογίας, καθώς και κάποιοι από τους κυριότερους τομείς εφαρμογής της. Ως Νανοτεχνολογία ορίζεται ο επιστημονικός κλάδος που ασχολείται με δομές μεγέθους μερικών νανομέτρων, τα νανοϋλικά, και με τις εφαρμογές τους. Οι κύριες κατηγορίες νανοϋλικών είναι αυτά με βάση τον άνθρακα, τα δενδριμερή και τα σύνθετα υλικά, ενώ οι κύριες μέθοδοι κατασκευής νανοϋλικών μπορούν να συνοψιστούν σε δύο μεγάλες κατηγορίες, τη Bottom-Up και την Top-Down μέθοδο. Ένας από τους σημαντικότερους τομείς εφαρμογής της Νανοτεχνολογίας είναι ο τομέας της Νανοηλεκτρονικής, όπου αναπτύσσονται γρηγορότερες επικοινωνίες, νέα πολύ ισχυρά συστήματα αποθήκευσης πληροφορίας, μικρότερα μεγέθη υπολογιστικών συστημάτων, συστήματα έξυπνων αισθητήρων κλπ. Την πρόοδο στον τομέα της Νανοηλεκτρονικής ακολούθησαν οι εξελίξεις και στον τομέα της Νανοϊατρικής, με διαγνωστικές και θεραπευτικές εφαρμογές.

## Λέξεις-κλειδιά

Νανοτεχνολογία, μέθοδος Bottom-up, μέθοδος Top-down, Νανοηλεκτρονική, Νανοϊατρική, νανοσωματίδια, Νανοφωτονική, Νανοβιολογία, κβαντικές τελείες, Νανομαγνητισμός

# ABSTRACT

In this paper, the definition of Nanotechnology is thoroughly demonstrated, as well as the main areas of Nanotechnology's applications. Nanotechnology is the scientific field that occupies with the study, development and applications of materials and devices, sized to a few nanometers. The main categories of nanomaterials include carbon-based materials, dendrimers and composites, whereas all the production techniques can be summarized within two main categories; the Bottom-Up and the Top-Down method. The most important field of application of Nanotechnology is the field of Nanoelectronics, with fastest communications, new powerful information storage systems, smaller computing systems, smart sensors etc. The progress in the field of Nanoelectronics was followed by high progress in the development of Nanomedicine with diagnostic and therapeutic applications.

## Key-words

Nanotechnology, Bottom-up method, Top-down method, Nanoelectronics, Nanomedecin, nanoparticles, Nanophotonics, Nanobiology, quantum dots, Nanomagnetism.

# ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

<b>ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ</b> .....	<b>2</b>
<b>ΠΕΡΙΛΗΨΗ</b> .....	<b>3</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>4</b>
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 : Η ΕΝΝΟΙΑ ΤΗΣ ΝΑΝΟΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ</b> ....	<b>10</b>
1.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ .....	10
1.2 ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΔΡΟΜΗ .....	11
1.2.1 Ιστορία των νανοεπιστημών και της τεχνολογίας	14
1.3 ΕΡΩΤΗΣΕΙΣ .....	35
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 : Η ΝΑΝΟΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΗ</b> .....	<b>36</b>
2.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ .....	36
2.2 ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΝΑΝΟΪΛΙΚΩΝ .....	38
2.3 ΟΙ ΝΑΝΟΣΩΛΗΝΕΣ ΑΝΘΡΑΚΑ .....	40
2.3.1 Εισαγωγή .....	40
2.3.2 Σύνθεση και καθαρισμός .....	41
2.3.3 Ηλεκτρονική δομή .....	43
2.3.4 Εφαρμογές .....	44
2.4 ΟΙ ΚΒΑΝΤΙΚΕΣ ΤΕΛΕΙΕΣ ΗΜΙΑΓΩΓΩΝ .....	45
2.4.1 Εισαγωγή .....	45
2.4.2 Η Σύνθεση των Κβαντικών Τελειών ( QDs) .....	48
2.4.3 Εφαρμογές .....	48
2.4.4 Τρανζίστορ μονού ηλεκτρονίου ( Single – Electron Transistor, SET ) .....	49
2.5 ΣΥΣΚΕΥΕΣ ΜΟΡΙΑΚΗΣ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΗΣ .....	51
2.6 ΕΡΩΤΗΣΕΙΣ .....	53
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 : Η ΝΑΝΟΦΩΤΟΝΙΚΗ</b> .....	<b>54</b>

3.1	ΕΙΣΑΓΩΓΗ .....	54
3.2	NSOM ( Near field scanning optical microscopy ) .....	56
3.3	ΑΝΤΙ-ΑΝΑΚΛΑΣΤΙΚΗ ΕΠΙΣΤΡΩΣΗ ( Anti-Reflection coating)	
3.3.1	Δείκτης διάθλασης ( refractive index ) .....	58
3.4	ΔΙΗΛΕΚΤΡΙΚΟ ΚΑΤΟΠΤΡΟ ( dielectric mirror ) .....	59
3.5	ΦΩΤΟΝΙΚΟΙ ΚΡΥΣΤΑΛΛΟΙ ( photonic crystals ) .....	61
3.6	ΚΒΑΝΤΟΜΗΧΑΝΙΚΗ .....	62
3.6.1	Ατομικό πρότυπο Bohr .....	62
3.6.2	Η Εξίσωση του Schrödinger .....	64
3.6.3	Ημιαγωγοί : Ενεργειακά χάσματα .....	66
3.6.4	Το εξιτόνιο ( exciton ) .....	68
3.6.5	Κβαντικό πηγάδι ( Quantum well) .....	70
3.7	ΤΟ ΠΛΑΣΜΟΝΙΟ ( Plasmon ) .....	71
3.7.1	Εξήγηση .....	72
3.7.2	Τα Επιφανειακά πλασμόνια ( Surface Plasmons )	74
3.7.3	Ο ρόλος των πλασμονίων .....	76
3.7.4	Το Νανοκέλυφος ( Nanoshell ) .....	77
3.8	ΤΑ ΜΕΤΑΪΛΙΚΑ ( Metamaterials) .....	80
3.8.1	Split-ring resonator .....	82
3.9	Ο ΥΠΕΡ-ΦΑΚΟΣ ( Superlense ) .....	84
3.10	ΕΡΩΤΗΣΕΙΣ .....	86

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 : Ο ΝΑΝΟΜΑΓΝΗΤΙΣΜΟΣ .....87**

4.1	ΕΙΣΑΓΩΓΗ .....	87
4.2	ΤΟ ΜΑΓΝΗΤΙΚΟ ΠΕΔΙΟ ( Magnetic field ) .....	88
4.2.1	Μονάδες μέτρησης .....	91
4.3	ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΜΑΓΝΗΤΙΣΜΟΥ .....	91
4.3.1	Διαμαγνητισμός .....	91
4.3.2	Παραμαγνητισμός .....	92
4.3.3	Σιδηρομαγνητισμός .....	93
4.4	ΜΑΓΝΗΤΙΚΗ ΠΕΡΙΟΧΗ ( Magnetic domain ) .....	95
4.4.1	Δομή περιοχής .....	97
4.4.2	Κορεσμός Μαγνήτισης ( Saturation Magnetization )	
4.4.3	Μαγνητική ανισοτροπία .....	99

4.4.4	Single - domain magnet .....	100
4.4.5	Υπερπαραμαγνητισμός ( Superparamagnetism )	
4.5	ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ( data storage ) .....	103
4.5.1	Εισαγωγή .....	103
4.5.2	Αποθήκευση δεδομένων υπολογιστή ( Computer Data Storage ) .....	103
4.5.3	Οργάνωση δεδομένων και παρουσίαση .....	104
4.5.4	Μαγνητική αποθήκευση δεδομένων .....	106
4.5.5	Σκληρός δίσκος ( Hard Disk Drive ) .....	107
4.5.6	Bit Patterned Media ( Μοτίβο μέσω bit ) .....	110
4.5.7	Σύγκριση με την υπάρχουσα τεχνολογία HDD ...	111
4.6	ΜΑΓΝΗΤΙΚΟΣ ΔΙΑΧΩΡΙΣΜΟΣ .....	113
4.7	ΡΟΦΗΤΗΣ ( Sorbent ) .....	114
4.8	Η “ ΣΥΝΘΕΣΗ ΚΟΥΖΙΝΑΣ “ ΤΩΝ ΝΑΝΟΣΩΜΑΤΙΔΙΩΝ .....	116
4.8.1	Επεξήγηση .....	118
4.9	Η ΜΑΓΝΗΤΙΚΗ ΤΟΜΟΓΡΑΦΙΑ ( MRI - Magnetic Resonance Imaging ) .....	121
4.9.1	Τεχνική λήψης .....	122
4.9.2	Τυπική δομή .....	123
4.9.3	Σκιαγραφικές ουσίες στην μαγνητική τομογραφία	
4.9.4	Γαδοπεντετικό οξύ ( Gadopentetic acid ) .....	127
4.10	ΕΡΩΤΗΣΕΙΣ .....	130

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 : Η ΝΑΝΟΪΑΤΡΙΚΗ .....131**

5.1	ΕΙΣΑΓΩΓΗ .....	131
5.2	ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ ΤΩΝ ΑΝΑΠΤΥΣΣΟΜΕΝΩΝ ΝΑΝΟΦΑΡΜΑΚΩΝ	
5.3	ΧΡΗΣΗ ΔΙΑΦΟΡΩΝ ΕΙΔΩΝ ΝΑΝΟΣΤΥΜΑΤΩΝ .....	134
5.3.1	Νανοκελύφη ( Nanoshells ).....	134
5.3.2	Νανοπόροι ( Nanopores ) .....	135
5.3.3	Tectodendrimers .....	136
5.4	ΠΡΩΤΟΚΟΛΛΑ ΓΙΑ ΧΟΡΗΓΗΣΗ ΝΑΝΟΦΑΡΜΑΚΩΝ .....	137
5.4.1	Σύστημα νανοσωματιδίου-φαρμάκου για Στοματική Χορήγηση .....	137
5.4.2	Σύστημα νανοσωματίδιου - φαρμάκου για Ρινική	

Χορήγηση .....	140
5.4.3 Σύστημα νανοσωματίδιου - φαρμάκου για Οφθαλμική Χορήγηση .....	141
5.5 Η ΝΑΝΟΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΣΕ ΔΙΑΓΝΩΤΙΚΕΣ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ .....	142
5.6 ΥΛΙΚΑ ΓΙΑ ΧΡΗΣΗ ΣΕ ΔΙΑΓΝΩΣΤΙΚΕΣ ΚΑΙ ΘΕΡΑΠΕΥΤΙΚΕΣ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ .....	143
5.6.1 Νανοσωματίδια Χρυσού .....	143
5.6.2 Κβαντικές τελείες .....	145
5.6.3 Μαγνητικά Νανοσωματίδια .....	147
5.7 ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΕΣ ΚΑΤΕΥΘΥΝΣΕΙΣ .....	148
5.8 ΕΡΩΤΗΣΕΙΣ .....	151

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6 : Η ΝΑΝΟΒΙΟΛΟΓΙΑ .....152**

6.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ .....	152
6.2 ΑΛΛΗΛΕΠΙΔΡΑΣΕΙΣ ΜΕΤΑΞΥ ΤΩΝ ΒΙΟΜΟΡΙΩΝ ΚΑΙ ΤΩΝ ΕΠΙΦΑΝΕΙΩΝ ΤΩΝ ΝΑΝΟΣΩΜΑΤΙΔΙΩΝ .....	154
6.2.1 Επιρροή των ηλεκτροστατικών αλληλεπιδράσεων στη δέσμευση των πρωτεϊνών με Νανοσωματίδια	
6.2.2 Τα ηλεκτρονικά αποτελέσματα της αλληλεπίδρασης Βιομορίου – Νανοσωματιδίου .....	157
6.3 ΔΙΑΦΟΡΕΤΙΚΟΙ ΤΥΠΟΙ ΑΝΟΡΓΑΝΩΝ ΥΛΙΚΩΝ ΠΟΥ ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΟΥΝΤΑΙ ΓΙΑ ΤΗ ΣΥΝΘΕΣΗ ΥΒΡΙΔΙΚΩΝ ΝΑΝΟ- ΒΙΟ ΔΙΑΤΑΞΕΩΝ .....	159
6.3.1 Υλικά από ευγενές μέταλλο .....	159
6.3.2 Ημιαγωγιμοί Νανοκρύσταλλοι ( Κβαντικές Τελείες )	
6.3.3 Μαγνητικά Νανοσωματίδια .....	162
6.4 ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΤΗΣ ΝΑΝΟΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΣΤΗ ΒΙΟΛΟΓΙΑ ...	163
6.4.1 Βιολογική Απεικόνιση Χρησιμοποιώντας Νανοκρυστάλλους Ημιαγωγών .....	166
6.4.2 Απεικόνιση ανοσολογικού φθορισμού βιοδεικτών	
6.4.3 Επισήμανση ανοσο-χρυσού ( Immunogold labeling )	
6.4.4 Διαγνωστικές Εφαρμογές των ανοσο-στοχευμένων Νανοσωματιδίων .....	170
6.4.5 Στοχευμένη χορήγηση φαρμάκων χρησιμοποιώντας	



Νανοσωματίδια .....	171
6.5 ΝΑΝΟΑΝΙΧΝΕΥΤΕΣ ΓΙΑ ΑΝΑΛΥΤΙΚΕΣ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ, ΜΙΑ ΝΕΑ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΣΤΗΝ ΙΑΤΡΙΚΗ ΔΙΑΓΝΩΣΗ ΚΑΙ ΒΙΟΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ .....	172
6.6 Η ΤΡΕΧΟΥΣΑ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΤΗΣ ΝΑΝΟΒΙΟΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ	176
6.7 ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΕΣ ΠΡΟΟΠΤΙΚΕΣ ΤΗΣ ΝΑΝΟΒΙΟΛΟΓΙΑΣ .....	177
6.8 ΕΡΩΤΗΣΕΙΣ .....	180

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7 : ΟΙ ΚΟΙΝΩΝΙΚΕΣ ΣΥΝΕΠΕΙΕΣ ΤΩΝ ΝΑΝΟΕΠΙΣΤΗΜΩΝ ΚΑΙ ΤΗΣ ΝΑΝΟΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ( ΣΤΙΣ ΑΝΑΠΤΥΣΣΟΜΕΝΕΣ ΧΩΡΕΣ ) .....**

7.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ .....	181
7.2 ΑΠΟ ΤΗΝ ΠΡΩΤΗ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΗ ΕΠΑΝΑΣΤΑΣΗ ΣΤΗ ΝΑΝΟ-ΕΠΑΝΑΣΤΑΣΗ .....	182
7.3 ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΤΩΝ ΝΑΝΟΕΠΙΣΤΗΜΩΝ ΚΑΙ ΤΗΣ ΝΑΝΟΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΣΤΗΝ ΚΟΙΝΩΝΙΑ .....	185
7.4 Η ΝΑΝΟ-ΟΙΚΟΝΟΜΙΑ .....	187
7.5 Η ΝΑΝΟ-ΗΘΙΚΗ .....	189
7.6 ΝΑΝΟΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΚΑΙ ΠΟΛΕΜΟΣ .....	190
7.7 Η “ ΠΡΑΣΙΝΗ “ ΝΑΝΟΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ .....	191
7.8 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ .....	192
7.9 ΕΡΩΤΗΣΕΙΣ .....	192

## **ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ .....**

**194**

## Κεφάλαιο 1 : Η έννοια της Νανοτεχνολογίας

### 1.1 Εισαγωγή: Νανοτεχνολογία

Η *Νανοτεχνολογία* είναι ο επιστημονικός κλάδος που ασχολείται με δομές ατόμων, μορίων με μία ή περισσότερες διαστάσεις, της τάξης του 1 έως 100nm. Στην κλίμακα αυτή οι δομές αυτές χαρακτηρίζονται από εξολοκλήρου διαφορετικές ιδιότητες (ηλεκτρικές, οπτικές, θερμικές, μηχανικές, χημικές) συγκριτικά με τις αντίστοιχες φυσικές ιδιότητες των στοιχείων αυτών σε μεγαλύτερη κλίμακα. Με πιο τεχνικούς όρους, η λέξη «νανο» σημαίνει  $10^{-9}$  ή ένα δισεκατομμυριοστό ενός αριθμού. Για να καταλάβουμε πόσο μικρό είναι ένα νανόμετρο (nm=δισεκατομμυριοστό του μέτρου) αρκεί να σκεφτούμε ότι είναι 80000 - 100000 μικρότερο του πάχους της ανθρώπινης τρίχας και ότι το πάχος ενός φύλλου χαρτιού είναι περίπου 100000 νανόμετρα.

Οι Ηνωμένες Πολιτείες Αμερικής (ΗΠΑ), έχουν θέσει ως μια από τις επιστημονικές τους προτεραιότητες την ανάπτυξη του κλάδου της Νανοτεχνολογίας μέσω της ίδρυσης του οργανισμού National Nanotechnology Initiative. Σύμφωνα με τον οργανισμό αυτό, η Νανοτεχνολογία ορίζεται ως εξής: “Η νανοτεχνολογία είναι η κατανόηση και ο έλεγχος της ύλης σε διαστάσεις περίπου μεταξύ 1 και 100 νανόμετρων (nm), όπου μοναδικά φαινόμενα επιτρέπουν νέες εφαρμογές οι οποίες δεν είναι εφικτές όταν χρησιμοποιούνται τα ίδια υλικά σε μακροσκοπική κλίμακα ή ακόμη και μεμονωμένα άτομα ή μόρια.”

Η τρέχουσα ανάπτυξη της τεχνολογίας υποδηλώνει ότι είναι αναγκαίες οι μειώσεις των διαστάσεων των συσκευών και ενεργών υλικών. Αυτό

είναι αναγκαίο στην περίπτωση της τεχνολογίας των υπολογιστών. Ο αριθμός των transistor που χρησιμοποιούνται σε ένα ολοκληρωμένο κύκλωμα έχει αυξηθεί τα τελευταία 40 χρόνια. Το 1965, ο Gordon Moore, ο συνιδρυτής της Intel, παρατήρησε ότι ο αριθμός των transistor ανά τετραγωνική ίντσα στα ολοκληρωμένα κυκλώματα διπλασιάζεται κάθε χρόνο από τη στιγμή εφεύρεσης του transistor. Ο Moore προέβλεψε ότι η τάση αυτή θα συνεχιστεί και στο άμεσο μέλλον. Στα επόμενα χρόνια, ο ρυθμός αυτός επιβραδύνθηκε και σήμερα ο Νόμος του Moore παρουσιάζει ένα είδος κορεσμού. Η πρόβλεψη αυτή είναι γνωστή ως **Νόμος του Moore**. Προκειμένου ο Νόμος του Moore να ξεπεράσει τον κορεσμό που πάει να εμφανίσει θα πρέπει οι διαστάσεις των συσκευών τεχνολογίας να συρρικνωθούν σε μία ή περισσότερες από τις διαστάσεις τους.

## 1.2 Ιστορική αναδρομή

Η δυναμική της Νανοτεχνολογίας πρωτοπαρουσιάστηκε το 1959 από τον φυσικό Richard Feynman κατά τη διάρκεια μιας διάλεξής του στην Αμερικανική Εταιρεία Φυσικών (American Physical Society) με τίτλο «There is plenty room at the bottom». Η ομιλία του βασιζόταν στην ιδέα ότι υπήρχε η δυνατότητα οι επιστήμονες να χειρίζονται κάθε υλικό σε ατομικό επίπεδο έτσι ώστε να αποθηκεύονται τεράστιες ποσότητες πληροφορίας σε πολύ μικρό χώρο ή να κατασκευαστούν πολύ μικρές σε μέγεθος συσκευές, οι οποίες θα παράγουν και θα αποθηκεύουν ενέργεια. Επιπλέον, ο Feynman ισχυρίστηκε ότι όσο πιο μικρές είναι οι

συσκευές, ιδιότητες της ύλης όπως είναι οι ελκτικές δυνάμεις Van der Waals και οι επιφανειακές τάσεις δε θα θεωρούνταν πια αμελητέες.

Η λέξη “νανοτεχνολογία” συστήθηκε για πρώτη φορά στην επιστημονική κοινότητα από τον Norio Taniguchi στο διεθνές συνέδριο για τη βιομηχανική παραγωγή στο Τόκιο το 1974 για να περιγράψει την υπερβολικά λεπτή επεξεργασία των υλικών με νανομετρική ακρίβεια.

Ο όρος “νανοτεχνολογία” εισήχθη από τον ερευνητή και συγγραφέα Eric Drexler το 1986 στο βιβλίο του Engines of Creation. Με τον όρο “νανοτεχνολογία” περιγραφόταν ουσιαστικά η ανάπτυξη συσκευών σε επίπεδο νανοκλίμακας. Πριν από αυτό όμως, ο Eric Drexler καθιέρωσε κάποιες από τις βασικές αρχές του μοριακού σχεδιασμού και της νανομηχανικής.

Στα τέλη της δεκαετίας του 1980 και στις αρχές της δεκαετίας του 1990 η νανοτεχνολογία ξεφεύγει από τα εργαστήρια των πανεπιστημίων και οι πρώτες εταιρείες αρχίζουν να διεξάγουν έρευνες πάνω στη νανοεπιστήμη ενώ τη δεκαετία του 2000 αρχίζουν να αναπτύσσονται και οι πρώτες εμπορικές εφαρμογές της νανοτεχνολογίας.

Παραδείγματα νανοϋλικών εμφανίζονται πολύ πριν, από το Μεσαίωνα ακόμη. Τότε οι τεχνίτες επεξεργάζονταν τον χρυσό και άλλα υλικά. Η διαδικασία που ακολουθούσαν ήταν εμπειρική. Η χρήση της φωτιάς για την επεξεργασία αυτών των υλικών ήταν συνηθισμένη για να παράγουν υλικά με πρωτοφανείς για την εποχή ιδιότητες. Ένα διάσημο παράδειγμα είναι η κούπα του Λυκούργου, η οποία με τη βοήθεια κολλοειδούς χρυσού και αργύρου παίρνει χρώμα πράσινο όταν φωτίζεται απ’έξω, ενώ παίρνει χρώμα κόκκινο όταν φωτίζεται από μέσα. Η παρασκευή χρυσών νανοκουκίδων επίσης χρησιμοποιήθηκε από Βικτωριανές και Μεσαιωνικές εκκλησίες οι οποίες ήταν διάσημες

για τα βιτρό που τις διακοσμούσαν. Ενώ και Αρχαίοι πολιτισμοί όπως των Αιγυπτίων φαίνεται να είχαν τη δυνατότητα να δημιουργούν συνθετικά υλικά σε εργαστήρια της εποχής τους. Οι Αιγύπτιοι παρήγαγαν συνθετικές ουσίες που χρησιμοποιούσαν στην καθημερινή τους κοσμετολογία και φαρμακολογία και κύριο γνώρισμά τους ήταν ότι παρέμεναν αναλλοίωτες στο χρόνο.



(α)

(β)

**Σχήμα 1.1**

*Η κούπα του Λυκούργου (α) φωτισμένη εξωτερικά (β) φωτισμένη εσωτερικά. ( Πηγή : Archaeology Newsroom - Παρασκευή, 27 Απριλίου 2012 )*

## 1.2.1 Ιστορία των νανοεπιστημών και της τεχνολογίας

- **29 Δεκεμβρίου 1959, Πληθώρα χώρου στο κάτω μέρος**

Η διάλεξη του Richard Feynman στο California Institute of Technology. Είχε τίτλο, "Υπάρχει πληθώρα χώρου στο κάτω μέρος." Εδώ, ο ίδιος πρότεινε τη "δυνατότητα να ελίσσονται πράγματα άτομο προς άτομο."

- **Μέσα 1970 : Νανοτεχνολογία**

Ιδέα της μοριακής νανοτεχνολογίας, προερχόμενη από τον Eric Drexler, προπτυχιακό στο MIT. Συνειδητοποίησε ότι η βιολογική "μηχανή" θα μπορούσε να προσαρμοστεί για την κατασκευή των προϊόντων μη-διαβίωσης κατόπιν εντολής.

- **1974 : Μοριακές συσκευές**

Η πρώτη μοριακή ηλεκτρονική συσκευή κατοχυρώθηκε με δίπλωμα ευρεσιτεχνίας από τους Aviram και Seiden της IBM. Ο καθηγητής Norio Taniguchi του Πανεπιστημίου Επιστημών του Τόκιο εφηύρε τον όρο *νανοτεχνολογία*.

- **1980 : Μοριακή νανοτεχνολογία**

Ο Eric Drexler, ένας φοιτητής του MIT, γράφει το πρώτο έγγραφο για την προηγμένη νανοτεχνολογία.

- **Μέσα 1980 : Χημική σύνθεση των νανωσωματιδίων**

Δημιουργήθηκαν διάφορα είδη συστημάτων νανοσωματιδίων. Αυτά περιλαμβάνουν σταθερά, διασπειρόμενα υλικά σχεδόν κάθε στοιχείου και κοινό δυαδικό οξειδιο και σουλφίδια.

▪ **1981 : Μικροσκοπία Σάρωσης Σήραγγας**

Οι Binning και Rohrer (IBM) κατασκευάζουν το μικροσκόπιο σάρωσης ηλεκτρονίων “Scanning Electron Microscope”- SEM καθιστώντας δυνατή την οπτική επαφή στην κλίμακα των ατόμων και μορίων.

“Surface Studies by Scanning Tunneling Microscopy,” Binning G., H. Rohrer, Ch. Gerber and E. Weibel *Phys.Rev.Lett.*,49 (1982),p.57.

▪ **1983 : Αυτο-συναρμολογούμενες Μονοστιβάδες**

Αυτο-συναρμολογούμενα μονοστρώματα (μοριακά λεπτές ταινίες) από θειόλες δημιουργήθηκαν σε χρυσές επιφάνειες. Αυτά χρησιμοποιούνται τώρα για διάφορες εφαρμογές δημιουργίας νανοδομών.

“ Adsorption of Bifunctional Organic Disulfides on Gold Surfaces ” Nuzzo , R.G. and D.L. Allara , *J. Am. Chem. Soc .* , 105 (1983) , σελ. 4481.

▪ **1985 : Οι επιστήμονες Richard Smalley, Robert Curl, Jr., και**

**Harold Kroto** ανακαλύπτουν σφαιρικά κλουβιά των 60 ατόμων άνθρακα που ονομάζονται “*buckminsterfullerene*”.

“C<sub>60</sub> : Buckminsterfullerene”, Kroto, H.W.,J.R. Heath, S.C. O’Brion, R.C. Curl και R.E. Smalley, *Nature*,318 (1985),p.162.

- **1986 : Μικροσκοπία Ατομικής Δύναμης**  
 Εφευρέθηκε το ατομικό μικροσκόπιο δύναμης (AFM).  
 “Atomic Force Microscope”, Binning, G., C.F. Quate and Ch. Gerber, *Phys. Rev. Lett.*, 56 (1986), p.930.
- **1986 : Μηχανές της Δημιουργίας**  
 Κατά την ίδια χρονική περίοδο, ο Eric Drexler δημοσιεύει “Μηχανές της Δημιουργίας.” Ο Drexler παρουσίασε τις προκλητικές του ιδέες στη μοριακή νανοτεχνολογία σε ένα ευρύ κοινό.
- **9 Νοεμβρίου 1989 : Γράφοντας με άτομα**  
 Ο Don Eigler στο Ερευνητικό Εργαστήριο της IBM στη Ζυρίχη στοιχίζει 35 άτομα Ξένου για να γράψει “IBM” χρησιμοποιώντας τη μύτη ενός μικροσκοπίου σήραγγας (STM) επιτυγχάνοντάς το σε θερμοκρασίες κοντά στο απόλυτο μηδέν.  
 “Positioning Single Atoms with a Scanning Tunneling Microscope”, Eigler, D.M., and E.K.Schweizer, *Nature*, 344 (1990),p.524
- **1991 : Άφιξη Νανოსωλήνων**  
 Ανακάλυψη των νανოსωλήνων άνθρακα από τον Sumio Iijima.  
 “Helical Microtubules of Graphitic Carbon”, Iijima, S., *Nature*, 354 (1991),p.56.
- **1992 : Νανοσυστήματα**  
 Ο Drexler δημοσίευσε τα *Νανοσυστήματα*, ένα τεχνικό έργο που περιγράφει έναν τρόπο για την κατασκευή εξαιρετικά υψηλής



απόδοσης μηχανών έξω από το μοριακό πλέγμα του άνθρακα.  
 (“αδιαμαντοειδή”)

Drexler, K.E., *Nanosystems : Molecular Machinery, Manufacturing and Computation*, (1992), Wiley / Interscience, New York.

- **1994 : Νανοσωματίδια Χρυσού**

Σταθερά νανοσωματίδια χρυσού με μοριακή προστασία έγιναν σε διάλυμα.

“Synthesis of Thiol-Derivatised Gold Nanoparticles in a Two-Phase Liquid–Liquid System”, Brust, M., M. Walker, D. Bethell, D.J. Schiffrin and R. Whyman, *J. Chem. Soc., Chem. Commun.*, (1994), pp. 801–802.

- **Ιανουάριος 1996 : Συναρμολόγηση Μορίων**

Οι επιστήμονες της IBM καταφέρνουν να μεταφέρουν και με ακρίβεια να τοποθετήσουν μεμονωμένα μόρια σε θερμοκρασία δωματίου.

- **Αύγουστος 1998 : Ευθυγραμμισμένοι Νανოსωλήνες**

Οι ευθυγραμμισμένες δέσμες νανოსωλήνων έχουν μεγαλώσει σε επιφάνειες μέσω της διαδρομής της πυρόλυσης.

“Large Aligned-Nanotube Bundles from Ferrocene Pyrolysis”, Rao C.N.R., R. Sen, B.C. Satishkumar and A. Govindaraj, *Chem. Commun.*, (1998), pp. 1525–1526.

- **2001 : Ο Νόμος του Moore ξεπεράστηκε**

Τον Ιούνιο του 2001, ερευνητές της Intel Corporation ανακοίνωσαν ότι είχαν δημιουργήσει την απαραίτητη τεχνολογία για να παράγουν μικρότερα και ταχύτερα transistor πυριτίου στον κόσμο σε μαζική κλίμακα. Αυτά ανάβουν και σβήνουν 1.5 τρις φορές το δευτερόλεπτο.

- **Απρίλιος 2002 : Οπτική Μικροσκοπία στη Νανοκλίμακα**

Οι επιστήμονες χρησιμοποίησαν την κλασική οπτική για να απεικονίσουν συστάδες βακτηρίων, μόλις 33 νανομέτρων σε μήκος διάσταση πολύ μικρότερη από το μήκος κύματος του οπτικού φάσματος φωτός που χρησιμοποιείται για να τις φωτίσει. Η μελέτη δείχνει ότι 'μακρινού πεδίου' οπτικά μικροσκόπια μπορούν να λειτουργήσουν πέρα από το όριο περίθλασης ( $\sim \lambda/2$ ). Ένα νέο είδος οπτικής μικροσκοπίας έχει γεννηθεί για να παρατηρήσουμε νανοαντικείμενα.

"Focal Spots of Size  $\lambda/23$  Open Up Far-Field Florescence

Microscopy at 33 nm Axial Resolution",

Dyba M. and S. Hell, Phys. Rev. Lett., 88 (2002), p. 163901.

- **Μάιος 2002 : Τα φωτόνια μετακινούν Μόρια**

Η πρώτη μετατροπή φωτός σε μηχανική ενέργεια από μία μονομοριακή συσκευή έχει κατασκευαστεί.

"Single-Molecule Optomechanical Cycle", Hugel, T., N.B. Holland,

A. Cattani, L. Moroder, M. Seitz and H.E. Gaub, *Science*, **296**,

1103.

▪ **Ιούνιος 2002 : Μαγνητικά Spins αποθηκεύουν Κβαντική Πληροφορία**

Το spin των ατόμων σε ένα cluster μέσα σε μια μαγνητική ένωση ευθυγραμμίστηκε με ένα εφαρμοζόμενο εξωτερικό μαγνητικό πεδίο.

“Coherent Spin Oscillations in a Disordered Magnet”, Ghosh, S., R. Parthasarathy, T.F. Rosenbaum and G. Aeppli, *Science*, **296** (2002), p. 2195.

▪ **Ιούνιος 2002 : Λιθογραφία με laser για φθηνότερα chips**

Τα Chip πυριτίου θα μπορούσαν να γίνουν πιο γρήγορα και φθηνότερα χρησιμοποιώντας μια νέα τεχνική παρασκευής τους, η οποία θα αύξανε τον χρόνο ζωής χρήσης του υλικού αυτού.

“Ultrafast and Direct Imprint of Nanostructures in Silicon”, Chou, S.Y., C. Keimel and J. Gu, *Nature*, **417** (2002), p. 835.

▪ **Αύγουστος 2002 : Tagged νανοσωματίδια για ανίχνευση**

Οι ανιχνευτές νανοσωματιδίων έχουν αναπτυχθεί για την ανίχνευση του DNA με μοναδικά "δακτυλικά αποτυπώματα".

“Nanoparticles with Raman Spectroscopic Fingerprints for DNA and RNA Detection”, Cao, Y.W.C., R. Jin and C. A. Mirkin, *Science* **297** (2002), p. 1536.

▪ **Σεπτέμβριος 2002 : GaN Nanowire Laser εκπέμπει φως**

Το πρώτο GaN Nanowire Laser είναι πραγματικότητα.

“Single Gallium Nitride Nanowire Lasers”, Johnson, J.C., Heon-Jin

Choi<sup>1</sup>, K.P. Knutsen, R.D. Schaller, P. Yang and R.J. Saykally, *Nature Materials*, **1** (2002), p. 106.

▪ **Οκτώβριος 2002 : Μόρια για την ενεργοποίηση Υπολογιστών  
Νανοκλίμακας**

Ένα νέο είδος υπολογιστών που βασίζεται στην κίνηση των μορίων και όχι στη ροή των ηλεκτρονίων έχει αποδειχθεί. Λογικές πύλες χρησιμοποιούν καταρράκτες από μόρια μονοξειδίου του άνθρακα για τη μεταφορά δεδομένων. Συσκευές που γίνονται με αυτόν τον τρόπο έχουν διαστάσεις στην κλίμακα των νανομέτρων, οι οποίες είναι αρκετές τάξεις μεγέθους μικρότερες από τα υπάρχοντα συστατικά.

“Molecule Cascades”, Heinrich, A.J., C.P. Lutz, J.A. Gupta and D.M. Eigler, *Science*, **298** (2002), p. 1381.

▪ **Νοέμβριος 2002 : Νανοσωλήνας άνθρακα κάνει τα transistors  
καλύτερα από πυριτίου**

Προβάλλεται ο ισχυρισμός ότι ένα τρανζίστορ νανοσωλήνων άνθρακα έχει καλύτερες ιδιότητες από τα τρανζίστορ πυριτίου ενός ισοδύναμου μεγέθους.

“High-κ Dielectrics for Advanced Carbon-Nanotube Transistors and Logic Gates”, Javey, A., H. Kim, M. Brink, Q. Wang, A. Ural, J. Guo, P. McIntyre, P. McEuen, M. Lundstrom and H. Dai, *Nature Materials*, **1** (2002), p. 241.

▪ **Ιανουάριος 2003 : Νανονηλεκτρονικές συσκευές  
κατασκευάζονται από νανοσύρματα**

Μονοδιάστατες ετεροδομής ηλεκτρονικές συσκευές που

βασίζονται σε νανοσύρματα κατασκευάστηκαν, όπως επίσης συντονιζόμενη διάνοιξη διόδων από κάτω προς τα πάνω με συναρμολόγηση διαφόρων III/V ημιαγωγών υλικών.

“Luminescence Polarization of Ordered GaInP/InP Islands”,

Hekanson, U., V. Zwiller, M.K.J. Johansson,

T. Sass and L. Samuelson, *Appl. Phys. Lett.*, **82** (2003), p. 627.

- **Φεβρουάριος 2003 : Συσκευή Νανοσωλήνα Άνθρακα ανιχνεύει μόρια αερίου**

Μία συστοιχία από ανιχνευτές που περιέχουν μονού-τοιχώματος νανοσωλήνες άνθρακα, οι οποίοι μπορούν να αισθανθούν αέρια, έχει κατασκευαστεί.

“Efficient Formation of Iron Nanoparticle Catalysts on Silicon Oxide by Hydroxylamine for Carbon Nanotube Synthesis and Electronics”, Choi, H.C., S. Kundaria, D. Wang, A. Javey, Q. Wang, M. Rolandi and H. Dai, *Nano Letters*, **3** (2003), p. 157.

- **Μάρτιος 2003 : Πολυμερής τηλεπισκόπηση είναι τώρα Νανοκρυσταλλική**

Πορώδες πυρίτιο έχει χρησιμοποιηθεί για την κατασκευή νανοκρυσταλλικών πολυμερών δομών. Οι προκύπτουσες δομές μπορεί να έχουν εφαρμογές ως συσκευές ανιχνεύσεως στο εσωτερικό του σώματος.

“Polymer Replicas of Photonic Porous Silicon for Sensing and Drug Delivery Applications”, Li, Y.Y., F. Cunin, J.R. Link, T. Gao, R.E. Betts, S.H. Reiver, V. Chin, S.N. Bhatia and M.J. Sailor, *Science*,

299 (2003), pp. 2045.

▪ **Απρίλιος 2003 : Νανοσύρματα κατασκευασμένα από Πρότυπα Πρωτεΐνης**

Σε ένα πρότυπο πρωτεΐνης ζύμης μεταλλικά νανοσύρματα δημιουργήθηκαν χρησιμοποιώντας νανοσωματίδια.

Scheibel, T., R. Parthasarathy, G. Sawicki, Xiao-Min Lin, H. Jaeger and S. L. Lindquist, *PNAS*, **100** (2003), p. 4527.

▪ **Μάιος 2003 : Μεγάλη μαγνητική ανισοτροπία**

Μεγάλη ενέργεια μαγνητικής ανισοτροπίας (ΜΑΕ) πάνω από 9meV έχει βρεθεί σε άτομα κοβάλτιου που τοποθετήθηκαν σε υποστρώματα πλατίνας. Έχει προταθεί ότι αυτή η ανακάλυψη θα βοηθήσει στο σχεδιασμό των νέων μαγνητικών υλικών που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την αποθήκευση δεδομένων.

“Giant Magnetic Anisotropy of Single Cobalt Atoms and Nanoparticles”, Gambardella, P., S. Rusponi, M. Veronese, S.S. Dhesi, C. Grazioli, A. Dallmeyer, I. Cabria, R. Zeller, P.H. Dederichs, K. Kern, C. Carbone and H. Brune, *Science*, **300** (2003), p. 1130.

▪ **Ιούνιος 2003 : Τα νανοσωματίδια καταστρέφουν Αλοάνθρακες**

Ένα διάλυμα από νανοσωματίδια χρυσού και ασημιού πραγματοποιεί την καταλυτική καταστροφή από αλογονωμένους υδρογονάνθρακες στο νερό. Οι συγγραφείς ισχυρίζονται ότι αυτό μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την απομάκρυνση των αλογονωμένων υδρογονανθράκων από το πόσιμο νερό.

“Halocarbon Mineralization and Catalytic Destruction by Metal Nanoparticles”, Nair A.S. and T. Pradeep, *Current Science*, **84** (2003), p. 1560.

▪ **Αύγουστος 2003 : Υγρά νανοσωματίδια αλλάζουν δομή**

Ορισμένα νανοσωματίδια αλλάζουν τη δομή τους με την προσθήκη νερού.

“Water-Driven Structure Transformation in Nanoparticles at Room Temperature”, Zhang, H., B. Gilbert, F. Huang and J.F. Banfield, *Nature*, **424** (2003), p. 1025.

▪ **Σεπτέμβριος 2003 : Νανοπόροι αναλύουν DNA**

Οι ιδιότητες από μεμονωμένα μόρια DNA έχουν μελετηθεί με τη χρήση μεμβράνης nanopore στερεάς κατάστασης. Η τεχνική μπορεί να χρησιμοποιηθεί τελικά για την ταχεία ανάλυση αλληλουχίας DNA.

“DNA Molecules and Configurations in a Solid-State Nanopore Microscope”, Li, J., M. Gershow, D. Stein, E. Brandin and J.A. Golovchenko, *Nature Materials*, **2** (2003), p. 611.

▪ **2003 : Ποικίλες ανακαλύψεις**

- ✓ Ένα νανοκαλώδιο έχει τη δυνατότητα να ανιχνεύσει το γονίδιο για την κυστική ίνωση (CF) πιο αποτελεσματικά από ό,τι συμβατικές δοκιμές διεξάγονται για την ασθένεια. Η ΚΙ είναι η πιο κοινή θανατηφόρα γενετική ασθένεια μεταξύ των ατόμων ευρωπαϊκής καταγωγής.

- ✓ Ίνες νανοκλίμακας που είναι λεπτότερες από τα μήκη κύματος του φωτός αναπτύχθηκαν.
- ✓ Πολυ-φωτονική μικροσκοπία των αιμοφόρων αγγείων έχει πραγματοποιηθεί με κβαντικές τελείες.
- ✓ Νανο οστά έχουν εμφυτευτεί σε ασθενείς.
- ✓ Έχει αποδειχθεί ότι μια ένεση από μαγνητικά νανοσωματίδια στην κυκλοφορία του αίματος μπορεί να αποκαλύψει όπου οι επιβλαβείς ιοί βρίσκονται. Τα σωματίδια είναι επικαλυμμένα με αντισώματα για την καταπολέμηση ενός συγκεκριμένου ιού, έτσι ώστε να σχηματίζουν μάζες που θα είναι ορατές σε συμβατικές σαρώσεις του σώματος.

▪ **Ιανουάριος 2004 : Το πρώτο Κολέγιο Νανοτεχνολογίας στον κόσμο.**

Το πρώτο κολέγιο στον κόσμο της νανοτεχνολογίας είναι εγκατεστημένο στο Suny Albany, ΗΠΑ.

▪ **Μάιος 2004 : Μείγμα Νανοσωλήνων**

Rolled-up νανοσωλήνες InAs / GaAs με τοιχώματα σωλήνα που περιέχει εναλλασσόμενα στρώματα κρυσταλλικών και μη-κρυσταλλικών υλικών κατασκευάστηκαν. Η δομή αυτών των ακτινικών υπερπλεγμάτων είχε μεταβληθεί χρησιμοποιώντας ένα λέιζερ, το οποίο είχε ως αποτέλεσμα την παραγωγή μικρών περιοχών των  $\beta$ -Ga<sub>2</sub>O<sub>3</sub>.

“Radial Superlattices and Single Nanoreactors”, Deneke, Ch.,

N.Y. Jin-Phillipp, I. Loa and O.G. Schmidt, *Appl. Phys. Lett.*, **84**



(2004), p. 4475.

▪ **Ιούνιος 2004 : Νανοσωματίδια καθαρίζουν Όγκους**

Οι όγκοι στα ποντίκια έχουν εξαλειφθεί από την φωτοθερμική εκτομή χρησιμοποιώντας σχεδόν υπέρυθρη απορρόφηση νανοσωματιδίων χωρίς να επηρεάζει τους υγιείς ιστούς.

“Photothermal Tumor Ablation in Mice Using Near Infrared-Absorbing Nanoparticles”, O’Neal, D.P., L.R. Hirsch, N.J. Halas, J.D. Payne and J.L. West, *Cancer Letters*, **209** (2004), p. 171

▪ **Ιούνιος 2004 : Νανοσυνδέσεις χρησιμοποιώντας**

**Φωτολιθογραφία**

Οι διασυνδέσεις σε νανοσύρματες συσκευές έχουν αναπτυχθεί με τη χρήση της τεχνικής φωτολιθογραφίας η οποία εξασφαλίζει ότι οι υψηλότερες αναλογίες των νανοσύρματων συνδέονται με τα ηλεκτρόδια.

“Scalable Interconnection and Integration of Nanowire Devices without Registration”, Jin, S., D. Whang, M.C. McAlpine, R.S. Friedman, Y. Wu and C.M. Lieber, *Nano Letters*, **4** (2004), p.915.

▪ **Ιούλιος 2004 : Απεικόνιση του Ενιαίου Spin ενός ηλεκτρονίου**

Για πρώτη φορά, περιστροφή ενός μεμονωμένου ηλεκτρονίου έχει απεικονισθεί με το συνδυασμό MRI με την AFM. Αυτό θα μπορούσε τελικά να οδηγήσει στην παραγωγή τρισδιάστατων εικόνων σε ατομική κλίμακα και ως readout συσκευές για spin-based κβαντικούς υπολογιστές.

“Single Spin Detection by Magnetic Resonance Force

Microscopy”, Rugar, D., R. Budakian, H.J. Mamin and B.W. Chui, *Nature*, **430** (2004), p. 329.

- **Ιούλιος 2004 : Κοιτώντας μέσα σε ένα νανοσύρμα χρησιμοποιώντας STM**

Χρησιμοποιώντας STM, το εσωτερικό ενός νανοσύρματος γαλλίου απεικονίστηκε με ατομικό ψήφισμα. Αυτό αποκάλυψε ελαττώματα όπως επίπεδα δίδυμα τμήματα και single-atom ακαθαρσίες.

“Direct Imaging of the Atomic Structure Inside a Nanowire by Scanning Tunnelling Microscopy”, Mikkelsen, A., N. Sköld, L. Ouattara, M. Borgström, J.N. Andersen, L. Samuelson, W. Seifert and E. Lundgren, *Nature Materials*, **3** (2004), p. 519.

- **Αύγουστος 2004 : Παροδική Εκπομπή Φωτός**

Έλεγχος του χρονισμού της εκπομπής φωτός από κβαντικές τελείες ημιαγωγών έχει επιτευχθεί με ενσωμάτωσή τους σε φωτονική κρυσταλλική δομή.

“Controlling the Dynamics of Spontaneous Emission from Quantum Dots by Photonic Crystals”, Lodahl, P., A.F. van Driel, I.S. Nikolaev, A. Irman, K. Overgaag, D. Vanmaekelbergh and W.L. Vos, *Nature*, **430** (2004), p. 654.

- **Σεπτέμβριος 2004 : Διαφανείς Conducting Νανοσωλήνες**

Διαφανή ηλεκτρικά αγώγιμα υμένια έχουν δημιουργηθεί από μονού τοιχώματος νανοσωλήνες άνθρακα, το οποίο έχει χρησιμοποιηθεί για την κατασκευή ενός ηλεκτρικού πεδίου

ενεργοποιημένου οπτικού διαμορφωτή.

“Transparent, Conductive Carbon Nanotube Films”, Wu, Z., Z. Chen, X. Du, J.M. Logan, J. Sippel, M. Nikolou, K. Kamaras, J.R. Reynolds, D.B. Tanner, A.F. Hebard and A.G. Rinzler, *Science*, **305** (2004), p. 1273.

▪ **Σεπτέμβριος 2004 : Φίλτρα νανοσωλήνων άνθρακα**

Πολυ-λειτουργικά φίλτρα με νανοσωλήνες άνθρακα έχουν αναπτυχθεί. Αυτά μπορούν να φιλτράρουν βακτήρια και ιούς από το νερό, καθώς και ξεχωριστό πετρέλαιο σε μοριακά συστατικά του.

“Carbon nanotube filters”, Srivastava, A., O.N. Srivastava, S. Talapatra, R. Vajtai and P.M. Ajayan, *Nature Materials*, **3** (2004), p. 610–614.

▪ **Οκτώβριος 2004 : Νέες οπτοηλεκτρονικές ίνες**

Νέες οπτοηλεκτρονικές ίνες που περιέχουν μέταλλο, μονωτή και ημιαγωγά στρώματα έχουν δημιουργηθεί. Αυτές οι ίνες θα μπορούσαν να βρουν εφαρμογές σε φωτο-ανιχνευτές με την ύφανση τους σε ένα ύφασμα μάζης.

“Metal-Insulator-Semiconductor Optoelectronic Fibres”, Bayindir, M., F. Sorin, A.F. Abouraddy, J. Viens, S.D. Hart, J.D. Joannopoulos and Y. Fink, *Nature*, **431** (2004), p. 826.

▪ **Οκτώβριος 2004 : Μαγνητικά νανοσωματίδια για να δράσουν ως αισθητήρες**

Ένα νέο είδος μαγνητικού αισθητήρα έχει αναπτυχθεί για την

ανίχνευση βιομορίων. Αυτό περιλαμβάνει τη μέτρηση της Brown relaxation των μαγνητικών νανοσωματιδίων συνδεδεμένα με τα στοχευμένα βιομόρια.

“Biological Sensors Based on Brownian Relaxation of Magnetic Nanoparticles”, Chung, S.H.,A. Hoffmann, S.D. Bader, C. Liu, B. Kay, L. Makowski and L. Chen, *Appl. Phys. Lett.*, **85** (2004), p. 2971.

▪ **Νοέμβριος 2004 : Πολυ-λειτουργικά νήματα νανοσωλήνων**

Πολυ-τοιχώματα νανοσωλήνων άνθρακα έχουν dry-spun σε ισχυρά στριμμένα νήματα έχοντας καλές ηλεκτρικές ιδιότητες. Αυτές οι ίνες θα μπορούσαν να βρουν εφαρμογές στην περίπτωση των δομικών συνθέτων, προστατευτικών ρούχων, υπερπυκνωτών, κλπ.

“Multi-Functional Carbon Nanotube Yarns by Downsizing an Ancient Technology”, Zhang, M.,K.R. Atkinson and R.H. Baughman *Science*, **306** (2004), p. 1358.

▪ **Δεκέμβριος 2004 : Nanotube-based οπτικοί αισθητήρες για μέτρηση επιπέδων σακχάρου στο αίμα**

Near-infrared οπτικοί αισθητήρες έχουν γίνει από τροποποιημένους single-walled νανοσωλήνες άνθρακα για μέτρηση των επιπέδων σακχάρου στο αίμα.

“Near-Infrared Optical Sensors based on Single-Walled Carbon Nanotubes”, Barone, P.W., S. Baik,D.A. Heller and M.S. Strano, *Nature Materials*, **4** (2004), p. 86.

- **Ιανουάριος 2005 : Διακόπτης Νανοκλίμακας**

Ένας μηχανικός διακόπτης νανοκλίμακας κατασκευάστηκε, ο οποίος μπορεί να φτιάξει βασικά λογικά κυκλώματα. Στο μέλλον, αυτό θα μπορούσε να αντικαταστήσει τους ημιαγωγικούς διακόπτες των ηλεκτρονικών συσκευών.

“Quantized Conductance Atomic Switch”, Terabe, K., T.Hasegawa, T. Nakayama and M. Aono, *Nature*, **433** (2005), p. 47.

- **Ιανουάριος 2005: PbS Quantum Dot Συσκευές Εντοπίζουν IR μήκη κύματος**

Η πρώτη στον κόσμο λύση-επεξεργασία PbS κβαντική τελεία φωτοανιχνευτή και φωτοβολταϊκές συσκευές που ανταποκρίνονται στην υπέρυθρη έχουν γίνει. Οι συσκευές αυτές θα μπορούσαν να ενισχύσουν την αποτελεσματικότητα της μετατροπής της ηλιακής ενέργειας σε ηλεκτρική ενέργεια.

“Solution-Processed PbS Quantum Dot Infrared Photodetectors and Photovoltaics”, Mcdonald, S.A.,G. Konstantatos, S. Zhang, P.W. Cyr, E.J.D. Klem, L. Levina and E.H. Sargent, *Nature Materials*,**4** (2005),p. 138.

- **Ιανουάριος 2005 : Νανοσωλήνες άνθρακα ως ηλεκτρόδια για Ηλεκτροχημεία**

Μεμονωμένου τοιχώματος νανοσωλήνες άνθρακα έχουν χρησιμοποιηθεί ως νανοηλεκτρόδια για την ηλεκτροχημεία.

Αυτά ήταν σε επαφή με νανολιθογραφία και κυκλική βολταμετρία πραγματοποιήθηκε σε υδατικά διαλύματα. Η μελέτη αυτή δείχνει τις δυνατότητες των νανοσωλήνων άνθρακα

ως νανοηλεκτρόδια.

“Individual Single-Walled Carbon Nanotubes as Nanoelectrodes for Electrochemistry”, Heller I., J. Kong, H.A. Heering, K.A. Williams, S.G. Lemay, and C. Dekker, *Nano Letters*, **5** (2005), p. 137.

- **Φεβρουάριος 2005 : Νανοσωματίδια για τον εντοπισμό της νόσου Αλτσχάιμερ που σχετίζονται με πρωτεΐνες**

Η συγκέντρωση των αμυλοειδών-β-διαχεόμενων συνδετών (ADDLs) στο εγκεφαλονωτιαίο υγρό έχει μετρηθεί χρησιμοποιώντας μια δοκιμασία βιο-barcode νανοσωματιδίων με βάση. Αυτή η τεχνική θα μπορούσε να παρέχει μία μέθοδο για την έγκαιρη διάγνωση της νόσου του Alzheimer, καθώς ADDLs είναι πιθανοί δείκτες για αυτό.

“Nanoparticle-Based Detection in Cerebral Spinal Fluid of a Soluble Pathogenic Biomarker for Alzheimer’s Disease”, Georganopoulou, D.G., L. Chang, Jwa-Min Nam, C.S. Thaxton, E.J. Mufson, W.L. Klein and C.A. Mirkin, *PNAS*, **102** (2005), p. 2273.

- **Φεβρουάριος 2005 : Αισθητήρες Si νανοσυρμάτων για τη βοήθεια ανακάλυψης φαρμάκων**

Για την ανίχνευση αλληλεπιδράσεων μεταξύ μικρών μορίων και πρωτεϊνών, ένας αισθητήρας νανοσύρματος πυριτίου δημιουργήθηκε και αυτό θα μπορούσε να έχει εφαρμογές στην ανακάλυψη φαρμάκων.

“Label-Free Detection of Small-Molecule–Protein Interactions by Using Nanowire Nanosensors”, Wang, W.U., C. Chen, Keng-hui

Lin, Y. Fang and C.M. Lieber, *PNAS*, **102** (2005), p. 3208.

▪ **Μάρτιος 2005 : Νανοσωλήνας πυκνωτής για τον εντοπισμό ατμών**

Χημικοί υδρατμοί έχουν ανιχνευθεί χρησιμοποιώντας τις αλλαγές χωρητικότητας που συμβαίνουν σε ένα δίκτυο μονού τοιχώματος νανοσωλήνων άνθρακα. Αυτή η τεχνική είναι ευαίσθητη σε ένα ευρύ φάσμα των αερίων και επίσης εκπέμπει μία γρήγορη απόκριση.

“Chemical Detection with a Single-Walled Carbon Nanotube Capacitor”, Snow, E.S., F.K. Perkins, E.J. Houser, S.C. Badescu and T.L. Reinecke, *Science*, **307** (2005), p. 1942.

▪ **Απρίλιος 2005 : Μαγνητικά νανοσωματίδια γέμισμα Νανοσωλήνων**

Οι νανοσωλήνες άνθρακα έχουν γεμίσει με μαγνητικά νανοσωματίδια. Οι προκύπτουσες μαγνητικές νανοδομές θα μπορούσαν να έχουν εφαρμογές σε συσκευές μνήμης, την ιατρική και φορητές ηλεκτρονικές συσκευές.

“Carbon Nanotubes Loaded with Magnetic Particles”, Korneva, G., H. Ye, Y. Gogotsi, D. Halverson, G. Friedman, Jean-Claude Bradley and K.G. Kornev, *Nano Letters*, **5** (2005), p. 879.

▪ **Απρίλιος 2005 : Κυκλώματα νανοκαλωδίων υψηλής ταχύτητας**  
Χρησιμοποιώντας δομικά στοιχεία νανοκλίμακας, υψηλής ταχύτητας ολοκληρωμένα κυκλώματα νανοκαλωδίων έγιναν για

πρώτη φορά και αυτά θα μπορούσαν να βρουν εφαρμογές σε ελαφριά, φορητά ηλεκτρονικά.

“Nanotechnology: High-Speed Integrated Nanowire Circuits”,  
Friedman, R.S., M.C. McAlpine, D.S. Ricketts, D. Ham and C.M.  
Lieber, *Nature*, **434** (2005), p. 1085.

- **Μάιος 2005 : LED Chips βασισμένα σε νανοκρυστάλλους ημιαγωγών**

Με την αντικατάσταση χρωμο-μετατροπέων φωσφόρων με CdSe-based νανοκρυστάλλους που ενσωματώνονται σε GaN-επίπεδα έγχυσης, μπορούν να γίνουν πιο αποτελεσματικές πολυχρωματικές δίοδοι εκπομπής φωτός.

“Multi-Color Light-Emitting Diodes Based on Semiconductor Nanocrystals Encapsulated in GaN Charge Injection Layers”,  
Mueller, A.H., M.A. Petruska, M. Achermann, D.J. Werder, E.A.  
Akhadov, D.D. Koleske, M.A. Hoffbauer and V.I. Klimov, *Nano Letters*, **5** (2005), p. 1039.

- **Ιούνιος 2005 : Υπερμοριακά nanostamping χρησιμοποιώντας DNA**

Η μαζική παραγωγή των νανοσυσκευών θα μπορούσε να διευκολυνθεί με τη χρήση της υπερμοριακής nanostamping τεχνικής εκτύπωσης. Αυτή η μέθοδος έχει ανάλυση μικρότερη από 40 nm και χρησιμοποιεί DNA υβριδισμού για αναπαραγωγή ενός προτύπου.

“Supramolecular Nanostamping: Using DNA as a Movable Type”,  
Yu, A.A., T.A. Savas, G.S. Taylor, A. Guiseppe-Elie, H.I. Smith and



F. Stellacci, *Nano Letters*, **5** (2005), p. 1061.

▪ **Αύγουστος 2005 : Νανοκαλώδια για τη μελέτη του εγκεφάλου**

Νανοςύρματα πυριτίου έχουν χρησιμοποιηθεί για τη σύνδεση σε νευρώνες, με βάση το μέγεθος κλίμακας που ταιριάζει. Τα νανοςύρματα, συνδεδεμένα με άξονες και dendrons, θα μπορούσαν να αποδειχθούν χρήσιμα για τη μελέτη των διαφόρων οδών σηματοδότησης που συμβαίνουν στο εσωτερικό του εγκεφάλου και θα μπορούσε μια ημέρα να οδηγήσει στην ανάπτυξη των νεότερων θεραπειών για διαταραχές που έχουν σχέση με τον εγκέφαλο.

“Detection, Stimulation, and Inhibition of Neuronal Signals with High-Density Nanowire Transistor Arrays”, Fernando, P., P.T. Brian, Y. Guihua, F. Ying, B.G. Andrew, Z. Gengfeng and M.L. Charles, *Science*, **313** (2005), p. 1100.

▪ **Σεπτέμβριος 2005 : Νανοκλίμακα συγχρονισμού**

Δύο χωροταξικά διαχωρισμένοι ταλαντωτές νανοκλίμακας (που εκπέμπουν στην περιοχή των μικροκυμάτων) έγιναν για συγχρονισμό με προσοχή του ηλεκτρικού πεδίου τους.

Παρατηρήθηκε ότι ο συντονισμός μεταξύ των ταλαντωτών οδηγεί σε σημαντική μείωση του πλάτους των εκπομπών και αύξησης της ισχύος. Αυτή η ανακάλυψη θα οδηγήσει σε σημαντική μείωση του μεγέθους σε πομπούς και δέκτες για την ασύρματη επικοινωνία.

“Mutual Phase-Locking of Microwave Spin Torque Nano Oscillators”, Kaka, S., M.R. Pufall, W.H. Rippard, T.J. Silva, S.E.

Russek and J.A. Katine, *Nature*, **437** (2005), p. 389.

“Phase-Locking in Double-Point-Contact Spin-Transfer Devices”,  
Mancoff, F.B., N.D. Rizzo, B.N. Engel and S. Tehrani, *Nature*, **437**  
(2005), p. 393.

- **Οκτώβριος 2005 : Κοιτάζοντας κάτω από την επιφάνεια των  
Νανοϋλικών**

Μια νέα τεχνική που ονομάζεται σάρωση κοντινού πεδίου ολογραφίας υπερήχων (SNFUH) έχει αναπτυχθεί και εφαρμόζεται για την απεικόνιση και τη μελέτη νανοδομών που υπάρχουν κάτω από την επιφάνεια. Η τεχνική αυτή μπορεί να απεικονίσει θαμμένες νανοδομές με χωρική ανάλυση των 10-100 nm.

“Nanoscale Imaging of Buried Structures Via Scanning Near Field Ultrasound Holography”, Shekhawat, G.S. and V.P. Dravid, *Science*, **310** (2005), p. 5745.

- **Νοέμβριος 2005 : Νανოსωματίδια για Κυτταρική Στόχευση**

Μαγνητικά, φθορίζοντα νανოსωματίδια λειτουργοποιημένα με μια ποικιλία βιολογικών μορίων έχουν χρησιμοποιηθεί για τη διαφοροποίηση των ενδοθηλιακών κυττάρων. Το υλικό αυτό χρησιμοποιείται για in-vivo απεικόνιση του καρκίνου στο πάγκρεας. Αυτό θα μπορούσε επίσης να βρει εφαρμογή στη διαφοροποίηση κυτταρικών σειρών, εξερευνώντας κυτταρικές καταστάσεις και στόχευση συγκεκριμένων κυτταρικούς τύπους.

“Cell-Specific Targeting of Nanoparticles by Multivalent Attachment on Small Molecules”, Weissleder, R., K. Kelly, E.Y. Sun, T. Shtatland and L. Josephson, *Nature Biotechnology*, **23**

(2005), p. 1418.

▪ **Δεκέμβριος 2005 : Νανοσωλήνες άνθρακα ως επιβραδυντικό φωτιάς**

Νανοσωλήνες άνθρακα-πολυμερών σύνθετων υλικών έχουν επιδείξει εξαιρετικές ιδιότητες επιβραδυντικού φωτιάς σε σύγκριση με τα παραδοσιακά αλογονωμένα υλικά. Το υλικό συμπεριφέρεται σαν ένα πήκτωμα άνω των 200 ° C και είναι περιβαλλοντικά πιο ήπια από ό, τι τα συμβατικά υλικά.

“Nanoparticle Networks Reduce the Flammability of Polymer Nanocomposites”, Kashiwagi. T., F. Du, J.F. Douglas, K.I. Winey, R.H. Harris and J.R. Shields, *Nature Materials*, **4** (2005), p. 928.

### 1.3 Ερωτήσεις

- Ποιος είναι ο ορισμός της *Νανοτεχνολογίας*;
- Τι προβλέπει ο *Νόμος του Moore*;  
Ποιο είναι το πρόβλημα που αντιμετωπίζει σήμερα ;
- Ποιες είναι οι ιδιότητες των νανο-σωματιδίων ;
- Πότε εμφανίστηκε για πρώτη φορά η έννοια της *Νανοτεχνολογίας*;
- Πότε έγινε γνωστή η *Νανοτεχνολογία* στον επιστημονικό κόσμο;

## Κεφάλαιο 2 : Η Νανοηλεκτρονική

### 2.1 Εισαγωγή

Η Νανοηλεκτρονική είναι το σημείο τομής της Νανοτεχνολογίας με την Ηλεκτρονική Βιομηχανία. Η Ηλεκτρονική αναφέρεται ουσιαστικά στα ηλεκτρονικά εξαρτήματα που περιέχονται στις καταναλωτικές συσκευές, για παράδειγμα, στις τηλεοράσεις, στα κινητά τηλέφωνα, στους υπολογιστές. Όλα αυτά τα εξαρτήματα με το πέρασμα του χρόνου έχουν γίνει καλύτερα, πιο ισχυρά και μικρότερα σε μέγεθος. Κοιτάζοντας την παρακάτω φωτογραφία ενός κινητού τηλεφώνου στην πάροδο του χρόνου, είναι προφανές ότι οι αρχικές συσκευές αυτές ήταν λιγότερο λειτουργικές και μεγαλύτερες σε μέγεθος.



**Σχήμα 2.1** ( Πηγή : “ Η εξέλιξη των κινητών τηλεφώνων από το 1946 μέχρι σήμερα” [www.otherside.gr](http://www.otherside.gr) 13 Σεπτεμβρίου 2011 )

Σημαντικό ρόλο στην ανάπτυξη της Νανοηλεκτρονικής έπαιξε το γεγονός πως το μέγεθος των ημιαγωγών τα τελευταία τριάντα χρόνια έχει υποστεί σημαντική εκθετική μείωση όπως το μέγεθος και το κόστος παραγωγής τους, με αντίστοιχη αύξηση της απόδοσης και βαθμού ολοκλήρωσης (ο γνωστός Νόμος του Moore). Η Νανοηλεκτρονική χρησιμοποιεί τις επιστημονικές μεθόδους που έχουν αναπτυχθεί σε ατομική κλίμακα με σκοπό τη μείωση του μεγέθους και των επιφανειών των υλικών και κάνει εφικτή την κατασκευή μικρότερων και γρηγορότερων ολοκληρωμένων κυκλωμάτων που οδηγεί στην δημιουργία νέων διατάξεων, για παράδειγμα τα νανοτρανζίστορ. Όλα αυτά έχουν πολλαπλές εφαρμογές στην καθημερινή ζωή με αποτελέσματα γρηγορότερες επικοινωνίες, νέα πολύ ισχυρά συστήματα αποθήκευσης πληροφορίας, μικρότερα μεγέθη υπολογιστικών συστημάτων, νέες συσκευές πολλαπλών λειτουργιών, συστήματα έξυπνων αισθητήρων και άλλα.

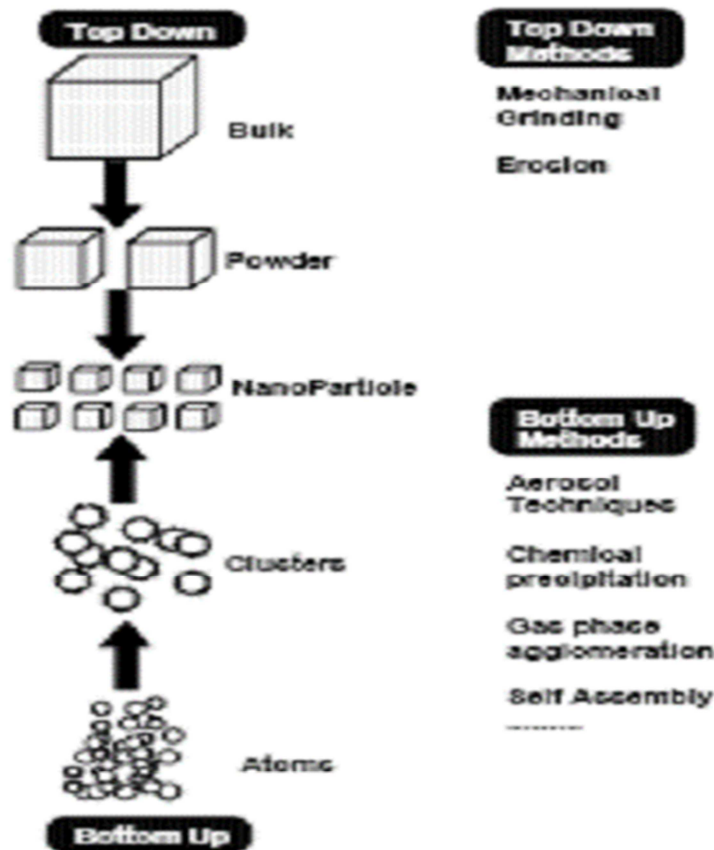
Υπάρχουν δύο πιθανοί τρόποι κατασκευής των νανοηλεκτρονικών αυτών εξαρτημάτων και συσκευών. Η μέθοδος (bottom-up) και η μέθοδος (top-down).

## **2.2 Τεχνικές παραγωγής νανοϋλικών**

Τα άτομα αποτελούν τις βασικές δομικές μονάδες της ύλης και συνδυάζοντάς τα γίνεται εφικτός ο σχηματισμός πιο σύνθετων δομών, όπως είναι τα μόρια και οι ενώσεις. Δύο είναι οι βασικές μέθοδοι παρασκευής των νανοϋλικών, τα οποία αποτελούν διατάξεις της ύλης σε νανοκλίμακα, ( η Bottom-Up ) και η (Top-Down μέθοδος ). Και οι δύο

προσεγγίσεις παίζουν πολύ σημαντικό ρόλο στη σύγχρονη βιομηχανία και φυσικά στις διαδικασίες της Νανοτεχνολογίας. Υπάρχουν πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα και στις δύο προσεγγίσεις. Στην μέθοδο Bottom-Up οι νανοδομές δημιουργούνται με τη σύναξη ατόμων, τη λεγόμενη αυτοσύναξη (self-assembly). Η αυτοσύναξη αναφέρεται στην τάση ορισμένων υλικών να οργανώνονται και να αποκτούν συγκεκριμένες διατάξεις. Η διαδικασία αυτή επιτρέπει την αυθόρμητη διάταξη των διαφορετικών ατόμων, μορίων ή νανοϋλικών μετά από την ανάμειξή τους και τον σχηματισμό σταθερών, καθορισμένων δομών γεγονός που οφείλεται στις μοναδικές γεωμετρικές και ηλεκτρονιακές δομές τους. Από την άλλη μεριά, η Top-Down μέθοδος αναφέρεται στην παρασκευή των νανοϋλικών με επιθυμητό μέγεθος ή σχήμα, μέσω διαδικασιών και μηχανισμών σμίκρυνσης συμπαγών υλικών.

Συνεπώς, δύο είναι οι τρόποι παραγωγής των νανοϋλικών. Ο πρώτος τρόπος ξεκινάει με υλικό μεγάλων διαστάσεων που στη συνέχεια τεμαχίζεται σε μικρότερη κλίμακα χρησιμοποιώντας μηχανική, χημική ή άλλη μορφή ενέργειας (Top-Down). Μια αντίθετη προσέγγιση είναι να συντεθεί το υλικό από το ατομικό ή μοριακό επίπεδο της ύλης μέσω χημικών αντιδράσεων, επιτρέποντας στα στοιχειώδη σωματίδια να μεγαλώνουν σε μέγεθος (Bottom-Up).



**Σχήμα 2.2**

Σχηματική αναπαράσταση της παραγωγής νανοδομών με Bottom-Up και Top-Down τεχνικές. ( Πηγή : “Synthesis and processing of Nano powders”, [www.gitam.edu](http://www.gitam.edu) )

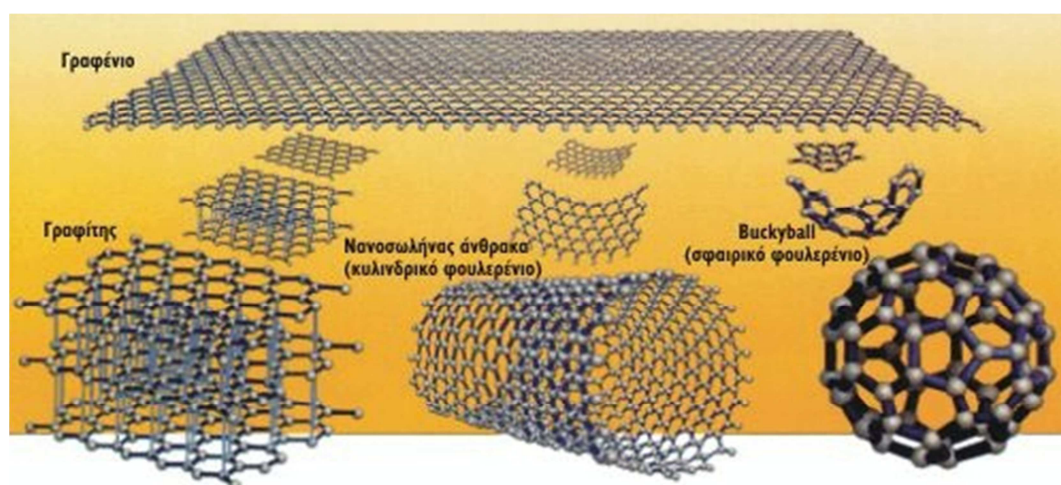
## 2.3 Οι Νανοςωλήνες άνθρακα

### 2.3.1 Εισαγωγή

Ο Άνθρακας είναι υπεύθυνος για τη δημιουργία των πιο ποικιλόμορφων ενώσεων. Έχει περισσότερα αλλότροπα από οποιοδήποτε

άλλο στοιχείο. Οι πιο πρόσφατες προσθήκες σε αυτόν τον κατάλογο είναι τα φουλερένια και οι *Νανοσωλήνες*. Ένα μονό φύλλο γραφίτη ονομάζεται γραφένιο. Ένας *Νανοσωλήνας άνθρακα* παράγεται με τη συστροφή ενός φύλλου γραφενίου. Ακριβώς όπως ένα φύλλο χαρτιού, επίπεδα φύλλα άνθρακα μπορούν επίσης να διπλωθούν με πολλούς τρόπους. Αυτό καθιστά το φύλλο άνθρακα ελικοειδές γύρω από τον άξονα του σωλήνα. Ο *Νανοσωλήνας* είναι μόνο άνθρακας, κάθε άτομο είναι ένα άτομο άνθρακα, έχει μια διάμετρο, τυπικά στη νανομετρική κλίμακα, μπορεί να είναι ανοιχτός ή κλειστός και έχει ένα μήκος, αρκετές εκατοντάδες φορές το πλάτος.

Θα μπορούσαν να γίνουν με μεγάλες αναλογίες πλευρών, έτσι ώστε να μοιάζουν με καλώδια, σύρματα και στην πραγματικότητα ορισμένα είδη *Νανοσωλήνων άνθρακα* μπορούν να άγουν το ηλεκτρικό ρεύμα πολύ καλά, καλύτερα και από χαλκό. Η αναλογία διαστάσεων συνήθως που αντιμετωπίζεται είναι της τάξης των 100. Οι μακρύτεροι *νανοσωλήνες* μπορεί να έχουν μήκη της τάξεως των μικρομέτρων.



**Σχήμα 2.3**



*Το γραφένιο (πάνω) είναι ένα επίπεδο από άτομα άνθρακα. Αποτελεί το δομικό στοιχείο όλων των μορφών άνθρακα που εικονίζονται, όπως ο γραφίτης (πολλά στρώματα γραφενίου χαλαρά ενωμένα μεταξύ τους) και τα φουλερένια, όπως οι κυλινδρικοί νανοσωλήνες και οι μπάλες γραφενίου, γνωστές ως Buckyballs. ( Πηγή : “ Υλικό για την τεχνολογία του 21<sup>ου</sup> αιώνα “ , Εφημερίδα “Ριζοσπάστης”, Κυριακή 18 Μάη 2008 )*

### **2.3.2 Σύνθεση και καθαρισμός**

Οι Νανοσωλήνες άνθρακα παρατηρήθηκαν αρχικά στο γραφίτη αιθάλης που τοποθετήθηκε στο αρνητικά φορτισμένο ηλεκτρόδιο που χρησιμοποιήθηκε στη σύνθεση τόξου εκκένωσης των φουλερενίων<sup>\*</sup>. Στη διαδικασία Kratschmer-Huffman, οι ράβδοι γραφίτη εξατμίστηκαν σε μια δυναμική ατμόσφαιρα ηλίου ( το ήλιο έχει διαρρέψει ενώ το κενό σύστημα αντλείται).

Οι Νανοσωλήνες βρίσκονται κυρίως με κλειστά άκρα και στις δύο πλευρές, αν και ανοικτοί σωλήνες επίσης υπάρχουν. Έτσι αυτά είναι τρισδιάστατα αντικείμενα κλειστού τύπου και μπορούν να θεωρηθούν ως επιμήκη φουλερένια. Για να δημιουργηθεί μια δομή κλειστού τύπου, πρέπει να υπάρχουν τουλάχιστον 12 πεντάγωνα, σύμφωνα με το θεώρημα του Euler, λαμβάνοντας υπόψη μόνο πεντάγωνα και εξάγωνα. Τα εξάγωνα κάνουν το επιμήκες σώμα του σωλήνα ενώ τα άκρα περιέχουν και τα εξάγωνα και τα πεντάγωνα, με ένα ελάχιστο έξι πεντάγωνα σε κάθε πρόσωπο. Ωστόσο, το σώμα του σωλήνα και τα άκρα μπορούν να έχουν ελαττώματα. Ενώ τα πεντάγωνα έχουν αποτέλεσμα στη θετική καμπυλότητα, τα επτάγωνα παρουσιάζουν

ατέλειες στην αρνητική καμπυλότητα. Η πρώτη κάνει ένα μεγαλύτερο σωλήνα μικρότερο, ενώ η δεύτερη μπορεί να αφαιρέσει αυτήν την καμπυλότητα.

Διάφορες τροποποιήσεις στη διαδικασία εκκένωσης τόξου έχουν αναφερθεί στην βιβλιογραφία για την σύνθεση των νανοσωλήνων. Κατά τη διαδικασία, μια μικρότερη διάμετρος (τυπικά 3 nm) ανόδου εξατμίζεται στο πρόσωπο μιας μεγαλύτερης διαμέτρου (6 nm) καθόδου σε συσκευή συνεχούς ρεύματος τόξου εκκένωσης. Το κύπελλο που αναπτύσσεται στην κάθοδο περιέχει πολλαπλών τοιχωμάτων σωλήνες. Το κύπελλο μπορεί να σπάσει, καθώς και οι νανοσωλήνες μπορούν να δυσλειτουργούν με ένα κατάλληλο διαλύτη και εναποτίθεται στα πλέγματα της TEM (Transmission Electron Microscopy) για εξέταση.

*\* Τα φουλερένια είναι ανθρακικές δομές (όπως εξάλλου είναι και ο γραφίτης ή οι νανοσωλήνες άνθρακα) με σφαιρικό σχήμα και ανακαλύφθηκαν το 1985 από τους Harold Kroto et al. (Βραβείο Νόμπελ Χημείας 1996). Το πιο γνωστό φουλερένιο είναι αυτό το οποίο αποτελείται από 60 άτομα άνθρακα αλλά επίσης κοινά είναι αυτά με 70, 76 και 84 άτομα άνθρακα.*

### 2.3.3 Ηλεκτρονική δομή

Οι Νανοσωλήνες μπορούν να έχουν σαφώς διαφορετικές ηλεκτρονικές ιδιότητες ανάλογα με την στροφικότητα (chirality). Πρόωροι υπολογισμοί προέβλεψαν ότι μπορούν να είναι ημιαγώγιμοι ή να συμπεριφέρονται ως μέταλλο, ανάλογα με τον τύπο της δομής. Προφανώς, καθώς αυξάνεται η διάμετρος οι σωλήνες μοιάζουν με γραφίτη, ο οποίος μπορεί να είναι μεταλλικός. Το “κατσάρωμα” των στρωμάτων γραφίτη και μια μείωση στον αριθμό στρωμάτων

προκαλούν αλλαγές στην ηλεκτρονική δομή των μεταλλικών σωλήνων, σε σύγκριση με εκείνες του γραφίτη. Η παρουσία ελαττωμάτων στο σώμα του σωλήνα μπορεί να μεταβάλει την ηλεκτρονική δομή και μπορεί να προσδώσει συγκεκριμένες ηλεκτρονικές ιδιότητες, όπως μεταλλική ή ημιαγωγού. Η ηλεκτρονική δομή των σωλήνων πρέπει να ανιχνευθεί με εργαλεία, ώστε να εξασφαλίσει ότι τίποτα άλλο δεν υφίσταται δειγματοληψία. Αυτό είναι πράγματι ένα δύσκολο έργο ως ανιχνευτές, όπως τα φωτόνια είναι τυπικά μεγαλύτερα σε διάσταση από τους νανοσωλήνες. Τα χαρακτηριστικά των συγκεκριμένων σωλήνων μπορούν να ενισχυθούν σε συγκεκριμένες ενέργειες διέγερσης πειραμάτων συντονισμού Raman. Η Φασματοσκοπία Raman μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τον προσδιορισμό πολλών ιδιοτήτων των νανοσωλήνων όπως η διάμετρος του σωλήνα που οφείλεται στη μεγάλη ευαισθησία των διαφόρων παραμέτρων του.

### **2.3.4 Εφαρμογές**

Η χρήση των νανοσωλήνων ως ηλεκτρικοί αγωγοί είναι μια συναρπαστική εφαρμογή. Έχει ήδη δημιουργηθεί το πρώτο μεμονωμένο μόριο βασιζόμενο στους νανοσωλήνες. Η απόδοση αυτής της συσκευής είναι συγκρίσιμη με εκείνη των συσκευών που βασίζονται στους ημιαγωγούς, αλλά η ενσωμάτωση των κυκλωμάτων θα απαιτήσει πολλή προσπάθεια. Ένα από τα προβλήματα που σχετίζονται με αυτές τις συσκευές είναι η ανάγκη να κάνουν επαφές και να υιοθετήσουν νεότερα είδη προσεγγίσεων. Έχει διαπιστωθεί ότι είναι δυνατόν να κατασκευαστούν συνδετήρες με βάση τους νανοσωλήνες. Έχουν γίνει

ακόμα διασυνδέσεις μεταξύ δομών που διαμορφώνονται σε υποστρώματα.

Επίσης διεξάγεται έρευνα για να εκτιμηθεί η ικανότητα των νανοσωλήνων άνθρακα για την αποθήκευση υδρογόνου. Η αποθήκευση λαμβάνει χώρα τόσο μεταξύ όσο και εντός των δεσμών νανοσωλήνων. Η έρευνα έχει δείξει ότι η ποσότητα του υδρογόνου που αποθηκεύεται είναι συγκρίσιμη με αυτή των καλύτερων υλικών αποθήκευσης, όπως τα μεταλλικά υδρίδια. Η εφαρμογή αυτού του είδους της αποθήκευσης θα είναι σημαντική για εφαρμογές κυψελών καυσίμου για αυτοκίνητα, όπου η αποθήκευση του υδρογόνου είναι ένας από τους κρίσιμους παράγοντες. Ωστόσο, προκειμένου να καταστεί αυτό εφικτό, είναι σημαντικό να αποθηκευτεί υδρογόνο στο 5 τοις εκατό της μάζας νανοσωλήνων. Η επίτευξη αυτής της ποσότητας φαίνεται να είναι ένα πρόβλημα, αν και η πρόσληψη και η απελευθέρωση είναι εφικτές.

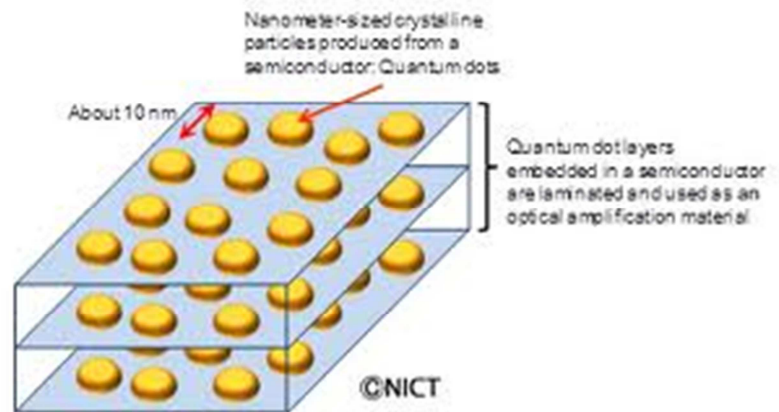
Έχει επίσης κατασκευαστεί ένας αισθητήρας ροής χρησιμοποιώντας νανοσωλήνες. Στη συσκευή αυτή, τα υγρά ρέουν μέσω των ευθυγραμμισμένων μονού τοιχώματος νανοσωλήνων που υποστηρίζονται πάνω σε ένα υπόστρωμα. Η ροή δημιουργεί ένα ηλεκτρικό δυναμικό της τάξης των λίγων millivolts. Αισθητήρες ροής φυσικού αερίου έχουν επίσης αναπτυχθεί προς την ίδια κατεύθυνση. Φίλτρα βασισμένα στους νανοσωλήνες έχουν κατασκευαστεί. Εδώ ένα υγρό που περιέχει μίγμα μορίων όπως το πετρέλαιο διαχωρίζεται στα συστατικά με διήθηση. Μια τέτοια προσέγγιση καθιστά δυνατό το φιλτράρισμα των βακτηριδίων, των ιών και των χημικών ουσιών από το νερό. Η πιο σημαντική πτυχή για την ανάπτυξη ενός τέτοιου φίλτρου είναι η κατασκευή ενός μηχανικά σταθερού φίλτρου με ευθυγράμμιση των νανοσωλήνων άνθρακα.

## 2.4 Οι Κβαντικές τελείες ημιαγωγών

### 2.4.1 Εισαγωγή

Οι Κβαντικές τελείες ημιαγωγών δηλώνουν μια κατηγορία υλικών στα οποία περιορισμένα κβαντικά φαινόμενα διερευνούνται λεπτομερέστερα. Επίσης αναφέρονται ως «ημιαγώγιμοι νανοκρύσταλλοι». Στην πραγματικότητα αυτά αποτελούν μια υπο-τάξη μιας ευρείας οικογένειας των νανοσωματιδίων, τα οποία περιλαμβάνουν ημιαγωγά, μεταλλικά, μονωτικά, οργανικά, κλπ. σωματίδια. Οι Κβαντικές τελείες (*Quantum dots*) είναι ένας όρος που αναφέρεται μόνο σε ημιαγωγά σωματίδια, ενώ οι «νανοκρύσταλλοι» μπορεί να είναι οποιαδήποτε ανόργανη οντότητα στην οποία υπάρχει μία κρυσταλλική διάταξη των συστατικών ατόμων / ιόντων. Σε ένα μακροσκοπικό ημιαγώγιμο κρύσταλλο, τα επίπεδα ενέργειας σχηματίζουν ζώνες. Η ζώνη σθένους είναι γεμάτη και η ζώνη αγωγιμότητας είναι εντελώς άδεια στους 0 K. Οι ζώνες χωρίζονται μεταξύ τους με ένα συγκεκριμένο ενεργειακό χάσμα, Eg. Όταν ένα ηλεκτρόνιο διεγείρεται λόγω θερμικών διεγέρσεων, ένα ζεύγος ηλεκτρονίου-οπής δημιουργείται. Το ηλεκτρόνιο στη ζώνη αγωγιμότητας και η οπή στη ζώνη σθένους μπορούν να δεσμευθούν όταν πλησιάζουν ο ένας τον άλλο σε μια πεπερασμένη απόσταση. Αυτό το δεσμευμένο ζεύγος ονομάζεται “εξιτόνιο” (exciton), το οποίο είναι μετατοπισμένο σε όλο τον κρύσταλλο. Η ηλεκτρονική δομή των υλικών

είναι στενά συνδεδεμένη με τη φύση του υλικού. Σε ένα τρισδιάστατο αντικείμενο μεγάλου μεγέθους, η ηλεκτρονική δομή δεν περιορίζεται από τη διάσταση του υλικού. Το μήκος κύματος των ηλεκτρονίων είναι πολύ μικρότερο από το τυπικό μήκος του υλικού. Όταν η ηλεκτρονική κίνηση περιορίζεται σε μία διάσταση, η οποία είναι ελεύθερη στις άλλες δύο διαστάσεις, αυτό οδηγεί στη δημιουργία “κβαντικών πηγαδιών” ή “κβαντικών μεμβρανών”. Ο συμβολισμός κβαντικού πηγαδιού σημαίνει ότι τα ηλεκτρόνια αισθάνονται μια δυνητικότητα καθώς αυτά παγιδεύονται στην ταινία. Στην περίπτωση ενός μονοδιάστατου συστήματος, δηλαδή όταν τα ηλεκτρόνια είναι ελεύθερα να κινούνται μόνο προς μία κατεύθυνση, έχουμε μια κατάσταση όπου η πυκνότητα καταστάσεων δείχνει μία γραμμή Lorentzian. Μια τέτοια κατάσταση φαίνεται στους νανοσωλήνες άνθρακα. Εάν τα ηλεκτρόνια περιορίζονται σε ένα σημείο, παίρνουμε μηδενικών διαστάσεων σύστημα, όπου τα ηλεκτρόνια δεν είναι ελεύθερα να κινούνται καθόλου. Μια ιδανική κβαντική τελεία είναι πραγματοποιήσιμη μόνο όταν οι ηλεκτρονικές θέσεις εντός της τελείας αντιμετωπίζουν μια ασυνέχεια στην άκρη του υλικού. Λόγω αυτού, το ηλεκτρόνιο, μέσα στην τελεία αισθάνεται ανυπέρβλητο εμπόδιο στην άκρη. Όταν ένα υλικό έχει περικοπεί στην επιφάνεια, τα επιφανειακά άτομα έχουν ανικανοποίητα σθένη. Προκειμένου να μειώσει την επιφανειακή ενέργεια, η επιφάνεια αναπροσαρμόζεται, η οποία οδηγεί σε επίπεδα ενέργειας στο απαγορευμένο χάσμα του ημιαγωγού. Οι ηλεκτρικές και οπτικές ιδιότητες του υλικού αποικοδομούνται από αυτές τις παγίδες.



**Σχήμα 2.4**

Απεικόνιση των κβαντικών τελειών ( Πηγή : “NICT Experiments with Quantum Dots to Increase Optic Fiber Bandwidth”, [www.deskeng.com](http://www.deskeng.com) , 7 February 2012 )

### 2.4.2 Η Σύνθεση των Κβαντικών Τελειών ( QDs)

Το είδος της μεθόδου που χρησιμοποιείται για τη σύνθεση των κβαντικών τελειών εξαρτάται από τις ιδιότητες. Στην ιδανική περίπτωση, οι νανοκρύσταλλοι θα πρέπει να έχουν τις ακόλουθες ιδιότητες:

1. Μονοδιασπορά ( Monodispersity )
2. Δυνατότητα περαιτέρω χημικής υποκατάστασης
3. Υψηλός βαθμός κρυσταλλικότητας και εξειδίκευσης  
(αποφεύγοντας πολυμορφικές φάσεις)
4. Χημική ακεραιότητα
5. Έλλειψη ελαττωμάτων

Υπάρχουν διάφορες μέθοδοι στη βιβλιογραφία για τη χημική σύνθεση των νανοσωματιδίων. Όλα αυτά μπορούν να ταξινομηθούν σε ορισμένες ευρείες κατηγορίες. Πρέπει να σημειωθεί ότι υπάρχουν και άλλες προσεγγίσεις, όπως η «βιολογική σύνθεση», που έχει λάβει κάποια προσοχή πρόσφατα.

### 2.4.3 Εφαρμογές

Οι ημιαγωγικοί νανοκρύσταλλοι βρίσκουν εφαρμογές σε διάφορους τομείς. Το φως μπορεί να απορροφηθεί με τη χρήση νανοσωματιδίων, ιδιαίτερα εκείνων με band gaps στην ορατή περιοχή. Το φως που απορροφάται κάνει μια δυνατή ηλεκτρονική διέγερση στο υλικό, αφήνοντας το ηλεκτρόνιο ελεύθερο στη ζώνη αγωγιμότητας. Αυτό το ελεύθερο ηλεκτρόνιο μπορεί να κινείται σε όλο το υλικό και μπορεί να συλλεχθεί σε ένα ηλεκτρόδιο. Το ηλεκτρόνιο μπορεί να τεθεί πίσω στο υλικό από ένα ξεχωριστό γεγονός, το οποίο δημιουργεί μια κατηγορία ηλιακών κυττάρων.

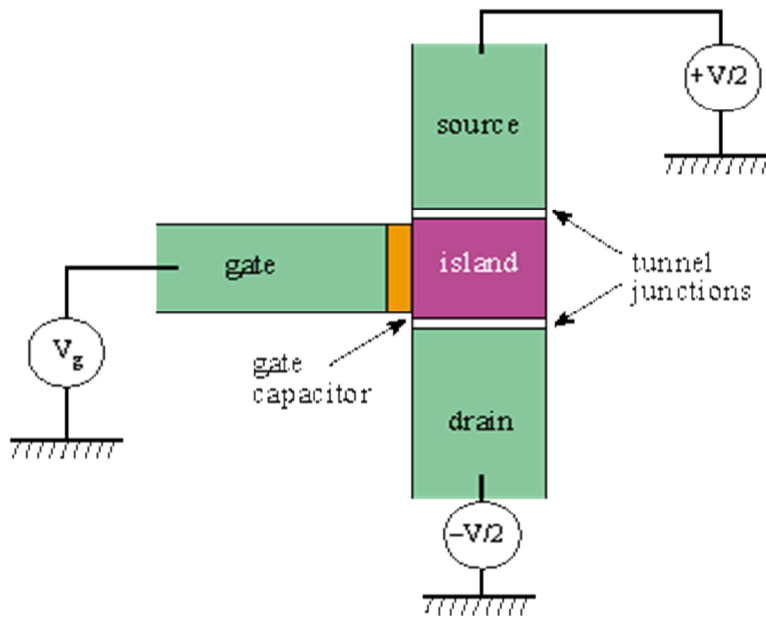
Οι κβαντικές τελείες χρησιμοποιούνται σε *συσκευές μονού ηλεκτρονίου*. Για να κατανοήσουμε τις στοιχειώδεις λεπτομέρειες ενός τέτοιου συστήματος, θεωρούμε το παράδειγμα μιας ηλεκτρικά ουδέτερης τελείας, που ονομάζεται έτσι επειδή ο αριθμός των ηλεκτρονίων που έχει είναι ο ίδιος με τον αριθμό των οπών. Προκειμένου να τεθεί ένα ηλεκτρόνιο στο εσωτερικό, πρέπει κανείς να εφαρμόσει μια ελάχιστη δύναμη. Το φαινόμενο της σήραγγας ( Tunneling ) είναι η πιο κοινή μέθοδος τοποθέτησης ενός φορτίου σε μια συσκευή αυτού του είδους αφού πολύ συχνά έχει ένα μονωτικό



φράγμα γύρω από αυτό. Το φορτίο που η τελεία κατέχει τώρα, παράγει ένα ηλεκτρικό πεδίο το οποίο απωθεί κάθε εισερχόμενο αρνητικό φορτίο.

#### **2.4.4 Τρανζίστορ μονού ηλεκτρονίου ( Single – Electron Transistor, SET )**

Ένα SET είναι μία συσκευή με τρεις ακροδέκτες, η δομή του οποίου προσομοιάζεται αρκετά με αυτή του MOSFET. Τα SET διαθέτουν, επίσης, μία νησίδα η οποία είναι κατασκευασμένη από μέταλλο. Η νησίδα περιλαμβάνει περίπου ένα εκατομμύριο ελεύθερα ηλεκτρόνια. Οι δυνάμεις Coulomb που εμφανίζονται ανάμεσα στα ηλεκτρόνια εμποδίζουν το φαινόμενο της σήραγγας όταν η τάση πόλωσης είναι χαμηλή. Το φαινόμενο αυτό ονομάζεται «αποκλεισμός Coulomb». Για να ελεγχθεί ο αριθμός των ηλεκτρονίων που βρίσκονται στη νησίδα, τοποθετείται δίπλα σε αυτή ένα μεταλλικό ηλεκτρόδιο πύλη. Κάθε φορά που η τάση στην πύλη αυξάνεται περνάει ένα ηλεκτρόνιο από την πηγή στην υποδοχή. Η διαδικασία αυτή επαναλαμβάνεται συνεχώς με αποτέλεσμα να υπάρχει και πάλι δημιουργία ηλεκτρικού ρεύματος. Τα τρανζίστορ αυτά μελετώνται για να χρησιμοποιηθούν ως δομικά στοιχεία των ηλεκτρονικών κυκλωμάτων καθώς είναι πολύ μικρά σε μέγεθος και μπορούν να ανιχνεύουν την κίνηση του κάθε ηλεκτρονίου ξεχωριστά. Παρουσιάζουν, βέβαια και κάποια μειονεκτήματα, όπως είναι το χαμηλό κέρδος τάσης, υψηλή αντίσταση εισόδου, κ.τ.λ. οπότε δεν μπορούν να χρησιμοποιηθούν ακόμη σε εφαρμογές που τα τρανζίστορ επίδρασης πεδίου χρησιμοποιούνται.



**Σχήμα 2.5**

*SET Transistor ( Πηγή : “Room-temperature single-electron devices made easier “, physicsworld.com, 24 June 2003 )*

## 2.5 Συσκευές μοριακής ηλεκτρονικής

Ο όρος *μοριακή ηλεκτρονική* χρησιμοποιείται γενικά για να χαρακτηρίσει τις συσκευές αυτές της ηλεκτρονικής των οποίων οι ηλεκτρονικές ιδιότητες προσομοιάζουν την συμπεριφορά των μορίων. Από τη στιγμή που το μέγεθος των μορίων κυμαίνεται από 0.2 έως 20nm, οι μοριακές ηλεκτρονικές συσκευές πρέπει να διαθέτουν τουλάχιστον μία διάσταση που να βρίσκεται σε αυτή την κλίμακα. Οι μοριακές ηλεκτρονικές συσκευές που έχουν ήδη κατασκευαστεί

συμπεριλαμβάνουν εκτός των άλλων, μοριακούς αγωγούς, ανορθωτές, τρανζίστορ, διόδους εκπομπής φωτός (LED), κ.τ.λ. Επειδή τα μόρια έχουν χαρακτηριστικά μεγέθη στην νανομετρική κλίμακα, οι ηλεκτρονικές ενεργειακές του στάθμες είναι κβαντισμένες και διαθέτουν ενεργειακά χάσματα με μεγάλο φάσμα ενεργειών. Μελετώντας, λοιπόν, τα ενεργειακά αυτά χάσματα το μόριο που κατασκευάζεται διαθέτει συγκεκριμένο ενεργειακό χάσμα και ηλεκτρονική κατανομή. Οι εφαρμογές της μοριακής ηλεκτρονικής εκμεταλλεύονται ακριβώς αυτόν τον κατακερματισμό ενέργειας που λαμβάνει χώρα στη νανομετρική κλίμακα.

Όλες οι ηλεκτρονικές διαδικασίες στη φύση, από τη φωτοσύνθεση έως τη μετάδοση των σημάτων, λαμβάνουν χώρα στις μοριακές δομές. Για τις ηλεκτρονικές εφαρμογές οι μοριακές δομές εμφανίζουν τέσσερα σημαντικά πλεονεκτήματα. Το πρώτο από αυτά είναι το μέγεθος τους. Το μέγεθος των μορίων κυμαίνεται από 1 έως 100nm, μία κλίμακα που επιτρέπει λειτουργικές νανοδομές που πλεονεκτούν έναντι των συμβατικών ηλεκτρονικών συσκευών στο κόστος κατασκευής τους, την αποτελεσματικότητά τους και την διάχυση της θερμότητας. Ακόμη ένα πλεονέκτημα είναι ότι χρησιμοποιώντας τις ενδομοριακές αλληλεπιδράσεις τα μόρια μπορούν να αυτοσυναρμολογηθούν και τροποποιώντας την ηλεκτρονική τους συμπεριφορά μπορούν να φέρουν σε πέρας παραπάνω από μία λειτουργίες. Για παράδειγμα, ένα μόριο μπορεί να λειτουργεί τόσο σαν διακόπτης όσο και σαν αισθητήρας. Επόμενο πλεονέκτημα που παρουσιάζουν οι μοριακές δομές είναι η δυναμική στερεοχημεία τους. Πολλά μόρια έχουν πολλαπλές ξεχωριστές γεωμετρικές δομές ή ισομερή. Αυτά τα γεωμετρικά ισομερή διαθέτουν ξεχωριστές οπτικές και ηλεκτρονικές

ιδιότητες. Τέλος, η συνθετική τους προσαρμοστικότητα είναι ένα ιδιαίτερο σημαντικό πλεονέκτημα που εμφανίζουν οι μοριακές δομές. Επιλέγοντας τη σύνθεση και τη γεωμετρία του κάθε μορίου, οι μεταφορικές, δομικές και οπτικές ιδιότητές του μεταβάλλονται ανάλογα με την εφαρμογή για την οποία κατασκευάζονται. Ένα μειονέκτημα που παρουσιάζουν οι μοριακές δομές είναι η έλλειψη σταθερότητάς τους όταν εφαρμόζονται σε αυτά υψηλές θερμοκρασίες.

## 2.6 Ερωτήσεις

- Τι είναι η *Νανοηλεκτρονική*;  
Ποιος είναι ο σκοπός της;
- Ποιες είναι οι μέθοδοι παρασκευής *Νανοϋλικών*;
- Τι είναι ένας *Νανოსωλήνας άνθρακα*;  
Ποιες είναι οι ιδιότητές του;  
Σε τι είναι χρήσιμος;
- Τι είναι οι *Κβαντικές τελείες*;  
Που εφαρμόζονται;
- Πώς ορίζεται η *μοριακή ηλεκτρονική*;  
Ποια τα πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα των μοριακών δομών;

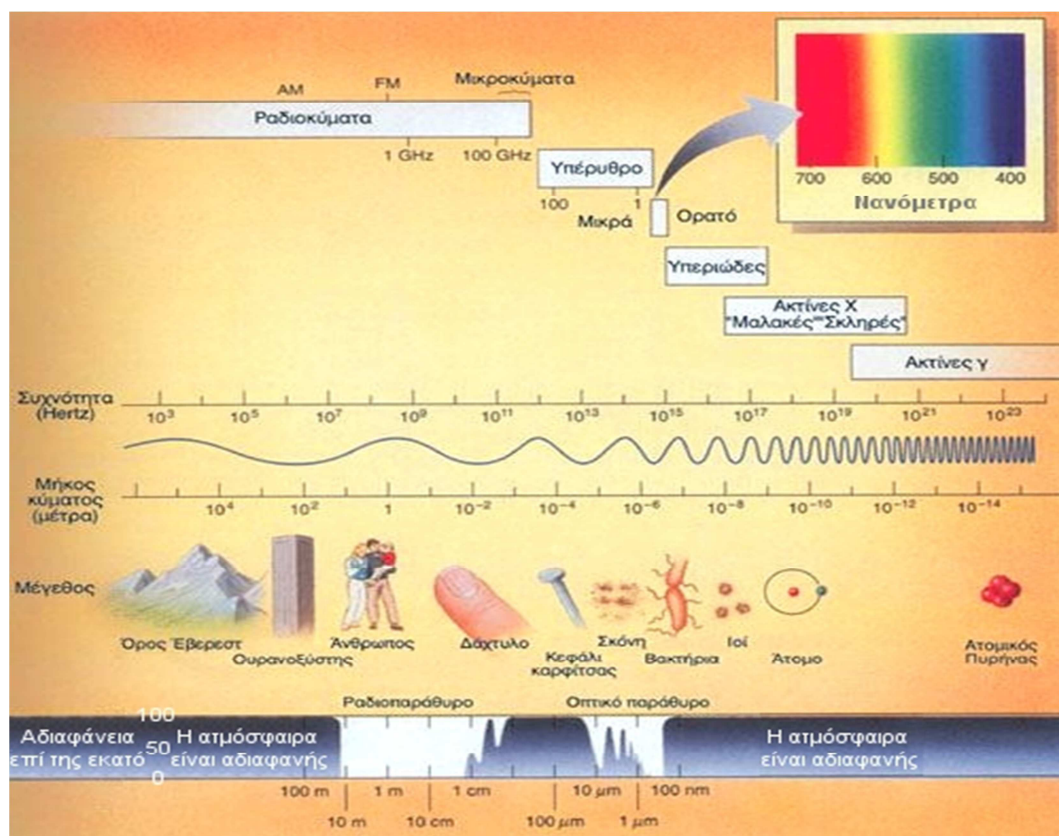
## Κεφάλαιο 3 : Η Νανοφωτονική

### 3.1 Εισαγωγή

Η *Νανοφωτονική* είναι το σημείο τομής της νανοτεχνολογίας με τη φωτονική, τη μελέτη δηλαδή του φωτός. Ένα νανοσωματίδιο είναι 100 φορές μικρότερο από ό, τι το μήκος κύματος του ορατού φωτός. Το φως είναι ένα ηλεκτρομαγνητικό κύμα, ένα απομονωμένο ηλεκτρικό και μαγνητικό πεδίο που μεταδίδεται μέσω του κενού χώρου. Οι ιδιότητες του φωτός διέπονται από τις εξισώσεις Maxwell, που ήταν οι πρώτες που καταγράφηκαν τη δεκαετία του 1860 και εξακολουθούν μέχρι και σήμερα να θεωρούνται αλάνθαστες. Το μήκος κύματος του φωτός,  $\lambda$ , είναι η απόσταση στο χώρο όταν ένα κύμα ταλαντώνεται. Το ορατό φως αντιστοιχεί στην φασματική περιοχή ανάμεσα στα 400-700nm. Η γραμμική συχνότητα του φωτός,  $\nu$ , είναι ο αριθμός των

επαναλαμβανόμενων κυμάτων σε ορισμένο χρόνο. Η ταχύτητα του φωτός στο κενό,  $c = \lambda \cdot \nu$ , είναι ακέραιος αριθμός που σημαίνει ότι όταν το μήκος κύματος αυξάνεται τότε η συχνότητα ελαττώνεται και το αντίστροφο. Για κύματα φωτός στο κενό, η ταχύτητα τους είναι ίση με,  $c \approx 3 \cdot 10^8 \text{ m/s}$ . Υπάρχουν πολλές μορφές φωτός όπως τα ραδιοκύματα και οι ακτίνες γάμμα.

Το φωτόνιο είναι η μικρότερη βασική μονάδα ενός κύματος φωτός. Η ενέργειά του είναι ανάλογη με τη συχνότητα. Η ένταση του φωτός είναι η συνολική ισχύς που πέφτει στο εμβαδόν επιφάνειας.



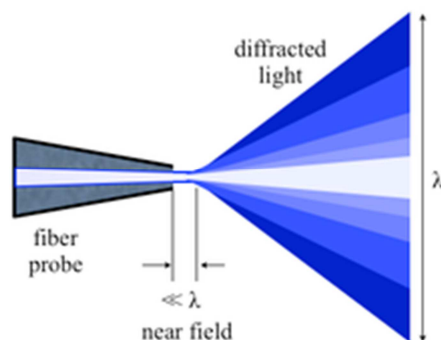
Σχήμα 3.1

Ηλεκτρομαγνητικό φάσμα ( Πηγή : [www.fr.euhou.net](http://www.fr.euhou.net) )

### 3.2 NSOM ( Near field scanning optical microscopy )

Η κοντινού πεδίου σάρωση οπτικής μικροσκοπίας (NSOM / SNOM) είναι μια τεχνική μικροσκοπίας για τη μελέτη των νανοδομών που σπάει το όριο του ευρύτερου πεδίου εκμεταλεύοντας τις ιδιότητες των περιοδικών κυμάτων. Αυτό γίνεται με την τοποθέτηση του ανιχνευτή πολύ κοντά (απόσταση πολύ μικρότερη από ό, τι το μήκος κύματος  $\lambda$ ) στην επιφάνεια του δείγματος. Αυτό επιτρέπει τον έλεγχο της επιφάνειας με υψηλή χωρική, φασματική και χρονική διακριτική ικανότητα. Με αυτήν την τεχνική, η ανάλυση της εικόνας περιορίζεται από το μέγεθος του ανοίγματος του ανιχνευτή και όχι από το μήκος κύματος του φωτίζοντος φωτός. Ειδικότερα, η πλευρική ανάλυση των 20 nm και η κάθετη ανάλυση των 2-5 nm έχουν αποδειχθεί. Όπως και στην οπτική μικροσκοπία, ο μηχανισμός αντίθεσης μπορεί εύκολα να προσαρμοστεί για να μελετήσει διάφορες ιδιότητες, όπως το δείκτη διαθλάσεως, τη χημική δομή και το τοπικό στρες. Δυναμικές ιδιότητες

μπορούν επίσης να μελετηθούν σε κλίμακα υπο-μήκους κύματος χρησιμοποιώντας αυτήν την τεχνική. Η NSOM / SNOM είναι μια μορφή μικροσκοπίου σάρωσης του καθετήρα.



**Σχήμα 3.2**

*Διάγραμμα που απεικονίζει οπτικά κοντινού πεδίου, με τη διάθλαση του φωτός που προέρχεται από ανιχνευτή οπτικών NSOM, δείχνοντας μήκος κύματος του φωτός και του κοντινού πεδίου. ( Πηγή : File:Nearfield optics.png, Wikipedia The Free Encyclopedia )*

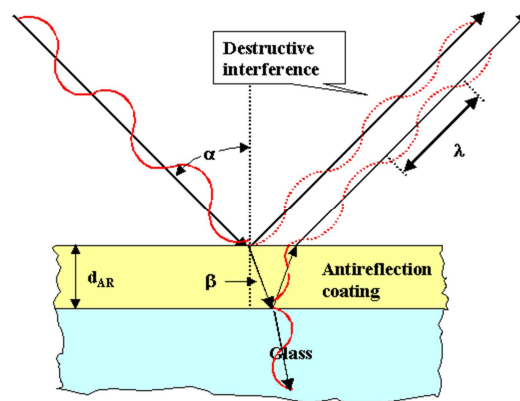
### **3.3 Αντι-ανακλαστική επίστρωση ( Anti-Reflection coating)**

Μια αντανάκλαστική ή αντι-ανακλαστική (AR) επίστρωση είναι ένας τύπος οπτικής επίστρωσης που εφαρμόζεται στην επιφάνεια των φακών και άλλων οπτικών συσκευών για τη μείωση της ανάκλασης. Αυτό βελτιώνει την απόδοση του συστήματος, δεδομένου ότι λιγότερο φως χάνεται και έτσι περισσότερο φως διαπερνά το οπτικό μας σύστημα. Σε σύνθετα συστήματα, όπως ένα τηλεσκόπιο, η μείωση αντανάκλασεων βελτιώνει επίσης την αντίθεση της εικόνας με εξάλειψη του παρασιτικού φωτός. Αυτό είναι ιδιαίτερα σημαντικό στην



πλανητική αστρονομία. Σε άλλες εφαρμογές, το κύριο όφελος είναι η εξάλειψη του ίδιου του προβληματισμού, όπως η επίστρωση στους φακούς γυαλιών που κάνει τα μάτια του χρήστη πιο ορατά στους άλλους ή μια επένδυση για να μειωθεί η λάμψη από τα κιάλια ενός συγκεκαλυμμένου θεατή ή η τηλεσκοπική όραση.

Πολλά επιχρίσματα αποτελούνται από διαφανείς λεπτές δομές με εναλλασσόμενες στρώσεις αντίθετου δείκτη διάθλασης. Τα πάχη των στρωμάτων επιλέγονται για την παραγωγή καταστροφικών συμβολών στις δέσμες που ανακλώνται από τις εναλλασσόμενες επιφάνειες και της ενισχυτικής συμβολής για τις αντίστοιχες μεταδιδόμενες δέσμες.

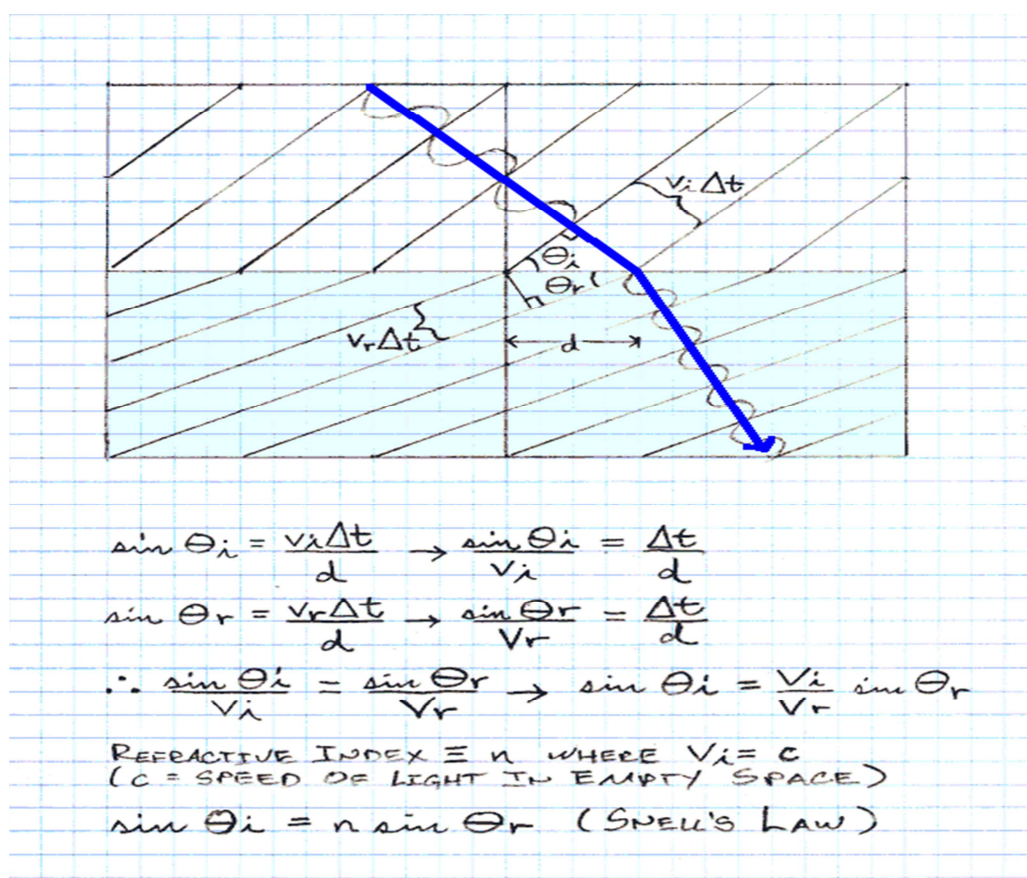


**Σχήμα 3.3**

Σχηματική όψη μιας αντι-ανακλαστικής επίστρωσης ( Πηγή : “ *Interference Paradox* “, [www.tf.uni-kiel.de](http://www.tf.uni-kiel.de) )

### 3.3.1 Δείκτης διάθλασης ( refractive index )

Κάθε υλικό επιτρέπει στο φως να το διαπερνά με διαφορετική ταχύτητα με αποτέλεσμα να χαρακτηρίζεται από ένα δείκτη διάθλασης (refractive index) ο οποίος δίνεται από τη σχέση:  $n=c/u$ , όπου  $c$  η ταχύτητα του φωτός στο κενό και  $u$  η ταχύτητα του φωτός στο μέσο διάδοσης. Η ταχύτητα του φωτός στο μέσο εξαρτάται από το μήκος κύματος του φωτός  $\lambda$  που διαδίδεται. Διαφορετικά μήκη κύματος έχουν διαφορετική ταχύτητα στο ίδιο μέσο. Όλα τα μήκη κύματος έχουν την ίδια ταχύτητα στο κενό  $c \approx 3 \cdot 10^8$  m/s. Το γεγονός της ύπαρξης διαφορετικής ταχύτητας στο μέσο διάδοσης για διαφορετικά μήκη κύματος προκαλεί τη γνωστή ανάλυση του φωτός στα διάφορα χρώματα του.

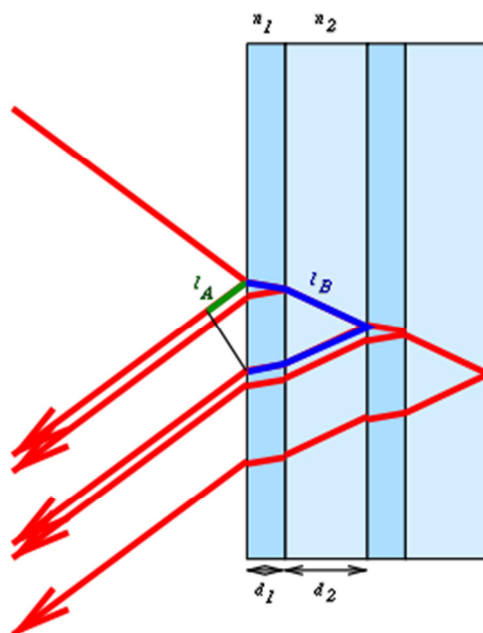


Σχήμα 3.4

Δείκτης Διάθλασης ( Πηγή : “Refractive Index and Critical Angle”,  
[www.rockhounds.com](http://www.rockhounds.com) )

### 3.4 Διηλεκτρικό κάτοπτρο ( dielectric mirror )

Ένα διηλεκτρικό κάτοπτρο, επίσης γνωστό ως κάτοπτρο Bragg, είναι ένα είδος κατόπτρου που αποτελείται από πολλαπλές λεπτές στρώσεις διηλεκτρικού υλικού, συνήθως εναποτίθενται επί ενός υποστρώματος από γυαλί ή κάποιο άλλο οπτικό υλικό. Με προσεκτική επιλογή του τύπου και του πάχους των διηλεκτρικών στιβάδων, μπορεί κανείς να σχεδιάσει ένα οπτικό επίχρισμα με καθορισμένη ανακλαστικότητα σε διαφορετικά μήκη κύματος του φωτός. Διηλεκτρικά κάτοπτρα χρησιμοποιούνται επίσης για την παραγωγή υπερ-υψηλής ανακλαστικότητας κατόπτρων: τιμές 99.999% ή καλύτερα για ένα στενό φάσμα μηκών κύματος μπορούν να παραχθούν με τη χρήση ειδικών τεχνικών. Εναλλακτικά, μπορούν να γίνουν για να αντικατοπτρίζουν ένα ευρύ φάσμα του φωτός, όπως είναι ολόκληρο το ορατό φάσμα ή στο φάσμα του Ti-sapphire λέιζερ. Κάτοπτρα αυτού του τύπου χρησιμοποιούνται πολύ συχνά σε πειράματα οπτικής, λόγω των βελτιωμένων τεχνικών που επιτρέπουν την φθηνή κατασκευή των κατόπτρων υψηλής ποιότητας. Παραδείγματα των εφαρμογών τους περιλαμβάνουν τα κάτοπτρα στις κοιλότητες των laser, τα λεπτά υμένα διαχειριστών δέσμης κ.ά.



**Σχήμα 3.5**

Διάγραμμα ενός διηλεκτρικού κατόπτρου. Οι λεπτές στρώσεις με υψηλό δείκτη διάθλασης  $n_1$  παρεμβάλλονται με παχύτερες στρώσεις με χαμηλότερο δείκτη διάθλασης  $n_2$ . Τα μήκη διαδρομής  $l_A$  και  $l_B$  διαφέρουν ακριβώς ένα μήκος κύματος, το οποίο οδηγεί σε εποικοδομητική παρεμβολή. ( Πηγή : File:Dielectric mirror diagram.svg, Wikipedia The Free Encyclopedia )

### 3.5 Φωτονικοί κρύσταλλοι (photonic crystals )

Οι φωτονικοί κρύσταλλοι είναι μια συνεχώς αναπτυσσόμενη τεχνολογία, λόγω των πλεονεκτημάτων που προσφέρουν. Η ικανότητά τους να ελέγχουν τη διάδοση του φωτός αποτέλεσε το έναυσμα για την περαιτέρω μελέτη τους. Οι φωτονικοί κρύσταλλοι επιτρέπουν την

κατασκευή πολύ μικρών φωτονικών διατάξεων. Ο κρύσταλλος είναι μια περιοδική διάταξη ατόμων ή μορίων. Άρα η κατανομή των ατόμων στον κρύσταλλο προκύπτει όταν ένα μπλόκ από άτομα ή μόρια επαναλαμβάνονται στον χώρο. Επομένως ένας κρύσταλλος μπορεί να αντιπροσωπεύει ένα περιοδικό δυναμικό σε ένα ηλεκτρόνιο που διαδίδεται μέσα από τον κρύσταλλο, ενώ η γεωμετρία του κρυστάλλου υπαγορεύει πολλές από τις ιδιότητές του. Συγκεκριμένα, το πλέγμα μπορεί να εισάγει κενά στις ενεργειακές μπάντες και άρα να καθιστά απαγορευτική την διάδοση των ηλεκτρονίων με συγκεκριμένες ενέργειες σε συγκεκριμένες διευθύνσεις. Αν το δυναμικό του πλέγματος είναι αρκετά ισχυρό, το διάκενο μπορεί να εκτείνεται σε όλες τις πιθανές διευθύνσεις, και άρα να μιλάμε για ένα ολικό διάκενο. Το οπτικό ανάλογο είναι ένας φωτονικός κρύσταλλος, στον οποίο το περιοδικό δυναμικό οφείλεται σε ένα πλέγμα από μακροσκοπικά διηλεκτρικά μέσα και όχι άτομα. Αν οι διηλεκτρικές σταθερές των υλικών είναι αρκετά διαφορετικές και η απορρόφηση φωτός από το υλικό είναι η μικρότερη δυνατή, τότε η σκέδαση από τις διαχωριστικές επιφάνειες μπορεί να προκαλέσει τα ίδια φαινόμενα για τα φωτόνια όπως και το ατομικό δυναμικό για τα ηλεκτρόνια. Μια λύση στο πρόβλημα του οπτικού ελέγχου και χειρισμού είναι επομένως ο φωτονικός κρύσταλλος, ένα χαμηλών απωλειών διηλεκτρικό μέσο. Συγκεκριμένα μπορούν να σχεδιάσουν φωτονικά διάκενα, για να εμποδίσουν τη διάδοση του φωτός σε συγκεκριμένες διευθύνσεις. Οι φωτονικοί κρύσταλλοι, εκτός του ότι μπορούν να έχουν παρόμοιες ιδιότητες με κοιλότητες και κυματοδηγούς, μπορούν να λειτουργήσουν και σε υψηλότερες συχνότητες. Οι φωτονικοί κρύσταλλοι μένουν αμετάβλητοι μόνο σε μετατοπίσεις που είναι πολλαπλάσιες κάποιου

συγκεκριμένου «βήματος» (discrete translational symmetry), που είναι ουσιαστικά η σταθερά πλέγματος  $a$ . Υπάρχουν φωτονικοί κρύσταλλοι μίας, δύο και τριών διαστάσεων.

## 3.6 Κβαντομηχανική

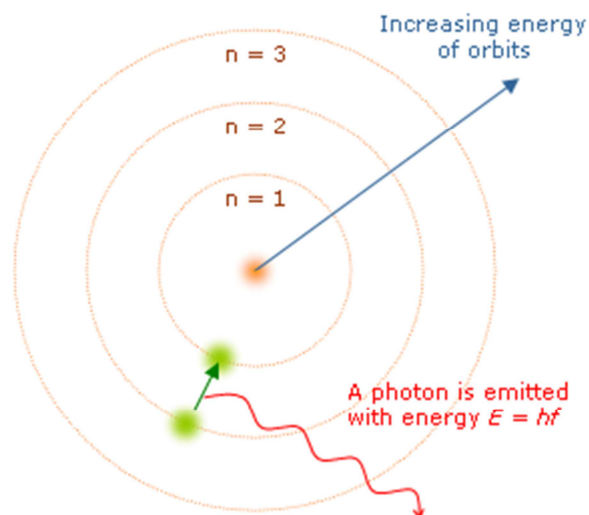
### 3.6.1 Ατομικό πρότυπο Bohr

Το 1913 ο Δανός Φυσικός Νιλς Μπορ (Niels Bohr) για να εξηγήσει τη δομή του ατόμου δέχτηκε το ατομικό πρότυπο του Νεοζηλανδού φυσικού Έρνεστ Ράδερφορντ (Ernest Rutherford). Σύμφωνα με αυτό:

- Σε κάθε άτομο υπάρχει θετικό φορτίο συγκεντρωμένο σε μια πολύ μικρή περιοχή του που είναι συμπαγής και ονομάζεται *πυρήνας*.
- Γύρω από τον πυρήνα βρίσκονται σε τροχιές τα αρνητικά ηλεκτρόνια, δεχόμενα από τον πυρήνα ελκτικές ηλεκτρικές δυνάμεις Κουλόμπ (Coulomb), σχηματίζοντας ένα *σύννεφο* αρνητικού φορτίου.
- Ο μεγαλύτερος χώρος του ατόμου είναι κενός.

Το πρότυπο αυτό ονομάζεται και πλανητικό πρότυπο γιατί μοιάζει στο πλανητικό μας σύστημα με τον πυρήνα να παίρνει τη θέση του ήλιου και τα ηλεκτρόνια τη θέση των πλανητών σε τροχιά γύρω από αυτόν. Ο Μπορ δέχτηκε επίσης ότι τα ηλεκτρόνια κινούνται σε κυκλικές τροχιές γύρω από τον πυρήνα υπό την επίδραση των ελκτικών ηλεκτρικών

δυνάμεων Κουλόμπ (Coulomb). Για να άρει τις αδυναμίες του ατομικού προτύπου του Ράδερφορντ ο Μπορ έθεσε αξιωματικά δύο προτάσεις που ονομάζονται και *συνθήκες του Μπορ*.



**Σχήμα 3.6**

Το ατομικό πρότυπο του Bohr. ( Πηγή : File : Bohratommodel.png ,  
Wikimedia Commons )

### **Μειονεκτήματα του Μοντέλου του Bohr**

Δεν μπορεί να περιγράψει ικανοποιητικά άτομα με περισσότερα από ένα ηλεκτρόνια, ούτε να ερμηνεύσει τα φάσματα πολυπλοκότερων του υδρογόνου ατόμων και ιόντων. Το ατομικό πρότυπο του Bohr μεταχειρίζεται τα ηλεκτρόνια ως σωματίδια με εντελώς καθορισμένη θέση και ορμή. Αυτό όμως παραβιάζει την αρχή της αβεβαιότητας του Heisenberg που λέει ότι η θέση και η ορμή ενός σωματιδίου είναι αδύνατο να καθοριστούν ταυτόχρονα με απεριόριστη ακρίβεια. Δεν εξηγεί τις σχετικές εντάσεις των φασματικών γραμμών. Η πρώτη συνθήκη του Bohr λέει ότι η στροφορμή του ηλεκτρονίου είναι μέγεθος

κβαντισμένο αλλά δεν εξηγεί γιατί. Το ατομικό πρότυπο του Bohr αποτελεί μόνο μία προσέγγιση της δομής του ατόμου της πολύ πιο ακριβούς κβαντικής θεωρίας.

### 3.6.2 Η Εξίσωση του Schrödinger

Στην κβαντική μηχανική, η εξίσωση Schrödinger είναι μια μερική διαφορική εξίσωση που περιγράφει πώς η κβαντική κατάσταση κάποιων φυσικών συστημάτων αλλάζει με το χρόνο. Διατυπώθηκε στα τέλη του 1925 και δημοσιεύθηκε το 1926 από τον Αυστριακό φυσικό Erwin Schrödinger. Στην κλασική μηχανική, η εξίσωση κίνησης είναι ο δεύτερος νόμος του Νεύτωνα και οι ισοδύναμες διαμορφώσεις είναι οι εξισώσεις Euler - Lagrange και εξισώσεις του Hamilton. Όλες αυτές οι τυποποιήσεις που χρησιμοποιούνται για την επίλυση της κίνησης ενός μηχανικού συστήματος και μαθηματικά προβλέπει τι θα κάνει το σύστημα σε οποιαδήποτε στιγμή πέραν των αρχικών ρυθμίσεων και τη διαμόρφωση του συστήματος. Στην κβαντική μηχανική, το ανάλογο του νόμου του Νεύτωνα είναι η εξίσωση Schrödinger για ένα κβαντικό σύστημα ( συνήθως άτομα, μόρια και υποατομικά σωματίδια είτε ελεύθερα, δεσμευμένα ή εντοπισμένα ). Δεν είναι μια απλή αλγεβρική εξίσωση, αλλά ( γενικά ) μία γραμμική μερική διαφορική εξίσωση. Η διαφορική εξίσωση περιγράφει την κυματοσυνάρτηση του συστήματος, που ονομάζεται επίσης και κβαντική θέση ή φορέας. Η έννοια του διανύσματος κατάστασης είναι ένα θεμελιώδες αξίωμα της κβαντομηχανικής. Όμως η εξίσωση του Schrödinger, αν και συχνά παρουσιάζεται ως αξίωμα, μπορεί στην πραγματικότητα να προέρχεται

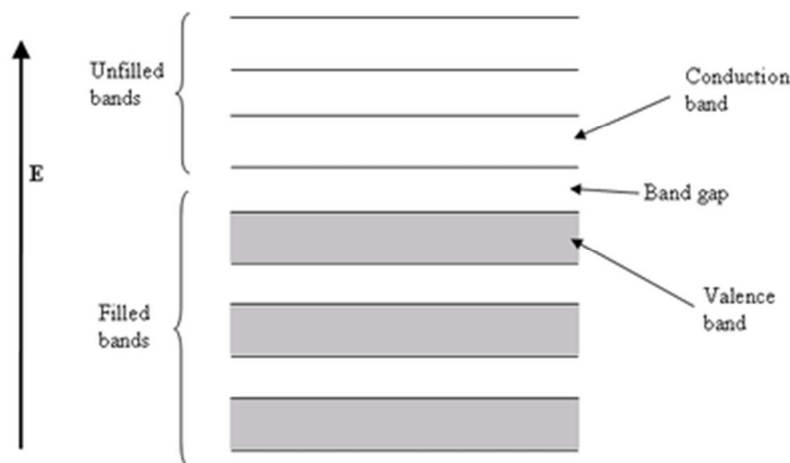


από τις αρχές συμμετρίας. Στη βασική ερμηνεία της κβαντομηχανικής, η κυματοσυνάρτηση είναι η πιο ολοκληρωμένη περιγραφή που μπορεί να δοθεί σε ένα φυσικό σύστημα. Οι λύσεις της εξίσωσης του Schrödinger περιγράφουν όχι μόνο μοριακά, ατομικά και υποατομικά συστήματα, αλλά και μακροσκοπικά συστήματα, ενδεχομένως ακόμη και ολόκληρο το σύμπαν. Όπως και ο δεύτερος νόμος του Νεύτωνα ( $F = ma$ ), η εξίσωση Schrödinger μπορεί να μετατραπεί μαθηματικά σε άλλες συνθέσεις όπως τη μηχανική των μητρών ( *matrix mechanics* ) του Werner Heisenberg και το μονοπάτι ολοκληρωτικής διατύπωσης ( *path integral formulation* ) του Richard Feynman. Επίσης, όπως και ο δεύτερος νόμος του Νεύτωνα, η εξίσωση Schrödinger περιγράφει το χρόνο με έναν τρόπο που είναι άβολο για σχετικιστικές θεωρίες, ένα πρόβλημα που δεν είναι τόσο σοβαρό στην μηχανική των μητρών και εντελώς ανύπαρκτο στο δρόμο της ολοκληρωτικής διατύπωσης.

### 3.6.3 Ημιαγωγοί : Ενεργειακά χάσματα

Στα στερεά, η ζώνη σθένους ( *valence gap* ) είναι το υψηλότερο φάσμα των ενεργειών των ηλεκτρονίων στις οποίες τα ηλεκτρόνια υπάρχουν κανονικά σε θερμοκρασία στο απόλυτο μηδέν (στην κλίμακα Kelvin). Τα ηλεκτρόνια σθένους συνδέονται σε μεμονωμένα άτομα, σε αντίθεση με τα ηλεκτρόνια αγωγιμότητας ( που βρέθηκαν σε αγωγούς και ημιαγωγούς ), τα οποία μπορούν να κινούνται ελεύθερα εντός του ατομικού πλέγματος του υλικού. Σε μια γραφική παράσταση της ηλεκτρονικής δομής ζώνης ενός υλικού, η ζώνη σθένους βρίσκεται κάτω από τη ζώνη αγωγιμότητας σε απόσταση σε μονάδες ενέργειας ίσης με

το ενεργειακό χάσμα και διαχωρίζεται βάση της τιμής του ενεργειακού χάσματος σε αγωγούς, σε μονωτές και ημιαγωγούς. Στα μέταλλα, η ζώνη αγωγιμότητας δεν διαχωρίζεται από τη ζώνη σθένους από το ενεργειακό χάσμα ( είναι σχεδόν μηδενικό). Για να κατανοήσουμε την έννοια της ζώνη σθένους, είναι σημαντικό να εξεταστεί η ατομική δομή ενός μετάλλου πρώτα. Οι ημιαγωγοί και μονωτές οφείλουν τη χαμηλή αγωγιμότητά τους στις ιδιότητες της ζώνης σθένους σε αυτά τα υλικά. Ο αριθμός των ηλεκτρονίων στο στερεό είναι ακριβώς ίσο με τον αριθμό των καταστάσεων που διατίθενται μέχρι την κορυφή της ζώνης σθένους ( υποθέτοντας η ζώνη σθένους είναι πλήρης ). Δεν υπάρχουν διαθέσιμες καταστάσεις μέσα στο ενεργειακό χάσμα. Αυτό σημαίνει ότι, όταν εφαρμόζεται ένα ηλεκτρικό πεδίο, τα ηλεκτρόνια δεν μπορούν να αυξήσουν την ενέργειά τους ( δηλαδή, την επιτάχυνση ), διότι δεν υπάρχουν θέσεις για τα ηλεκτρόνια, όπου θα πρέπει να κινούνται ταχύτερα από ό,τι ήδη συμβαίνει. Υπάρχει κάποια αγωγιμότητα στους ημιαγωγούς παρόλα αυτά. Αυτό οφείλεται στη θερμική διέγερση-μερικά από τα ηλεκτρόνια παίρνουν αρκετή ενέργεια για να ξεπεράσουν το ενεργειακό χάσμα με μία κίνηση. Από τη στιγμή που είναι στη ζώνη αγωγιμότητας, μπορούν να άγουν το ηλεκτρικό ρεύμα, όπως και οι οπές ( οπή : κενή θέση ηλεκτρονίου ) που άφησαν πίσω στη ζώνη σθένους. Η οπή είναι μια κενή κατάσταση που επιτρέπει στα ηλεκτρόνια στη ζώνη σθένους να έχουν κάποιο βαθμό ελευθερίας.



**Σχήμα 3.7**

Η δομή ζωνών ενός ημιαγωγού που παρουσιάζει πλήρη ζώνη σθένους και μια κενή διεξαγωγή ενώνουν. Το *fermi* επίπεδο βρίσκεται μέσα στο *band gap* ( Πηγή : [wikipedia.qwika.com](http://wikipedia.qwika.com) )

Η ζώνη αγωγιμότητας ( *conduction band* ) είναι το φάσμα των ενεργειών των ηλεκτρονίων που είναι αρκετό για να ελευθερωθεί ένα ηλεκτρόνιο από τη σύνδεση με το άτομό του ώστε να κινηθεί ελεύθερα μέσα στο ατομικό πλέγμα του υλικού ως “απεντοπισμένο ηλεκτρόνιο” ( *delocalized electron* ). Τα διάφορα υλικά μπορούν να ταξινομηθούν με βάση το ενεργειακό τους χάσμα: αυτό ορίζεται ως η διαφορά μεταξύ των ζωνών σθένους και αγωγιμότητας. Σε ημιαγωγούς, το ενεργειακό χάσμα είναι μικρό. Αυτό εξηγεί γιατί χρειάζεται λίγη ενέργεια ( με τη μορφή θερμότητας ή φωτός ) για να κάνουν τα ηλεκτρόνια των ημιαγωγών να αποκεντρωθούν και να γίνουν αγωγοί του ρεύματος, εξ ου και το όνομα, ημιαγωγοί. Τα ηλεκτρόνια εντός της ζώνης αγωγιμότητας είναι υπεύθυνα για την αγωγιμότητα του ηλεκτρικού ρεύματος σε μέταλλα και καλούς αγωγούς του ηλεκτρισμού.

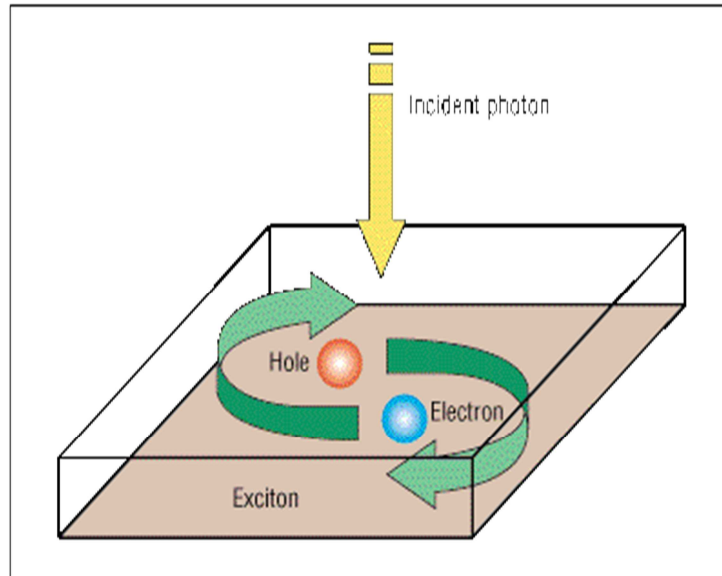
### 3.6.4 Το εξιτόνιο ( exciton )

Το εξιτόνιο ορίζεται ως ένα ζευγάρι δεσμευμένων μεταξύ τους ηλεκτρονίου - οπής σε ένα διηλεκτρικό ή έναν ημιαγωγό. Το ηλεκτρόνιο έχει αποκτήσει αρκετή ενέργεια ώστε να βρίσκεται σε διεγερμένη κατάσταση, αλλά να μην εγκαταλείπει πλήρως την οπή. Το ζεύγος αποκτά σταθερότητα που την εξασφαλίζει η μεταξύ τους ηλεκτροστατική έλξη ( δύναμη Coulomb ). Η βιωσιμότητα των εξιτονίων είναι μικρή, γιατί το ηλεκτρόνιο και η οπή μπορούν να ανασυνδυαστούν με εκπομπή ενός φωτονίου. Επίσης, με την προσφορά ενός μικρού ποσού ενέργειας, το ηλεκτρόνιο μπορεί να υπερνικήσει την έλξη Coulomb και να κινηθεί πλέον ελεύθερο.

Ένα εξιτόνιο μπορεί να σχηματιστεί όταν ένα φωτόνιο απορροφάται από έναν ημιαγωγό. Αυτό διεγείρει ένα ηλεκτρόνιο από τη ζώνη σθένους στη ζώνη αγωγιμότητας. Με τη σειρά του, αυτό αφήνει πίσω του μία θετικά φορτισμένη οπή (μια αφηρημένη έννοια για τη θέση από την οποία μεταφέρθηκε ένα ηλεκτρόνιο). Το ηλεκτρόνιο στη ζώνη αγωγιμότητας, έλκεται τότε με αυτήν την οπή από τις απωθητικές δυνάμεις Coulomb, από μεγάλο αριθμό ηλεκτρονίων περιβάλλοντας την οπή και το διεγερμένο ηλεκτρόνιο. Αυτή η έλξη παρέχει μια σταθεροποίηση της ενεργειακής ισορροπίας. Κατά συνέπεια, το εξιτόνιο έχει ελαφρώς λιγότερη ενέργεια από ό, τι το μη δεσμευμένο ηλεκτρόνιο και οπή. Η κυματοσυνάρτηση της συνδεδεμένης κατάστασης λέγεται ότι είναι hydrogenic, μια εξωτική κατάσταση ατόμου παρόμοια με εκείνη ενός ατόμου υδρογόνου. Ωστόσο, η ενέργεια σύνδεσης είναι πολύ μικρότερη και το μέγεθος του σωματιδίου πολύ μεγαλύτερο από ό, τι ένα άτομο υδρογόνου. Αυτό συμβαίνει λόγω του ελέγχου της δύναμης

Coulomb από άλλα ηλεκτρόνια του ημιαγωγού (δηλαδή, διηλεκτρική σταθερά του) και των μικρών ενεργών μαζών του διεγερμένου ηλεκτρονίου και της οπής. Η επανασύνδεση του ηλεκτρονίου και της οπής, δηλαδή η διάσπαση του εξιτονίου, περιορίζεται από τη σταθεροποίηση συντονισμού λόγω της αλληλοεπικάλυψης των κυματοσυναρτήσεων των ηλεκτρονίων και οπών, με αποτέλεσμα την εκτεταμένη διάρκεια ζωής του εξιτονίου. Το ηλεκτρόνιο και η οπή μπορούν να έχουν είτε παράλληλα ή αντιπαράλληλα spin. Οι περιστροφές συνδυάζονται με την ανταλλαγή αλληλεπίδρασης, δίνοντας αφορμή για λεπτή δομή εξιτονίου. Στα περιοδικά πλέγματα, οι ιδιότητες ενός εξιτονίου δείχνουν εξάρτηση ως προς την κατεύθυνση κίνησής του.

Η έννοια του εξιτονίου προτάθηκε για πρώτη φορά από τον Yakov Frenkel το 1931, όταν περιέγραψε τη διέγερση των ατόμων σε ένα πλέγμα μονωτών. Πρότεινε ότι η διεγερμένη κατάσταση θα ήταν σε θέση να ταξιδέψει σε ένα σωματίδιο μέσα από το πλέγμα χωρίς την καθαρή μεταφορά φορτίου

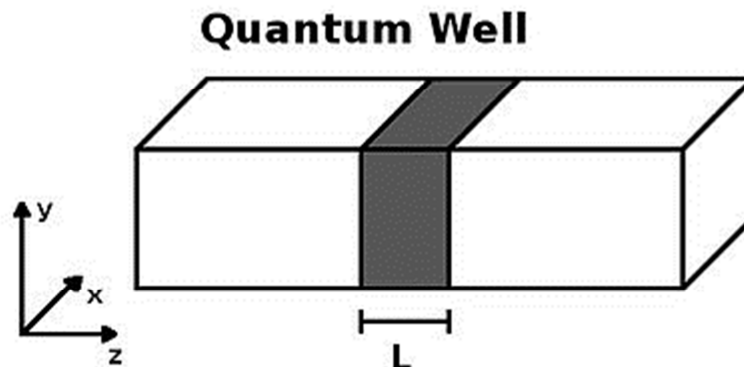


**Σχήμα 3.8**

Φωτόνιο δημιουργεί εξιτόνιο ( Πηγή : [northbeggan.wordpress.com](http://northbeggan.wordpress.com) ,  
4 October 2009 )

### 3.6.5 Κβαντικό πηγάδι ( Quantum well)

Ενα κβαντικό πηγάδι είναι ένα δυνητικό πηγάδι με μόνο διακριτές τιμές ενέργειας. Μία τεχνολογία για τη δημιουργία κβαντοποίησης είναι να περιοριστούν σωματίδια, τα οποία ήταν αρχικά ελεύθερα να κινούνται σε τρεις διαστάσεις, σε δύο διαστάσεις, αναγκάζοντάς τους να καταλαμβάνουν μια επίπεδη περιοχή. Τα αποτελέσματα του κβαντικού περιορισμού λαμβάνουν χώρα όταν το κβαντικό πηγάδι γίνεται συγκρίσιμο με το μήκος κύματος de Broglie των φορέων ( συνήθως ηλεκτρόνια και οπές ), οδηγώντας σε επίπεδα ενέργειας που ονομάζεται “ ενέργεια υποζωνών ”, δηλαδή, οι φορείς μπορούν να έχουν μόνο διακριτές τιμές ενέργειας.



**Σχήμα 3.9**

*Κβαντικό πηγάδι ( Πηγή : Quantum well.jpg, Wikipedia The Free Encyclopedia )*

### 3.7 Το Πλασμόνιο ( Plasmon)

Στη φυσική, ένα Πλασμόνιο είναι ένα κβάντο της ταλάντωσης του πλάσματος. Το πλασμόνιο είναι ένα quasiparticle<sup>\*</sup> που προκύπτει από την κβάντωση των ταλαντώσεων πλάσματος ακριβώς όπως τα φωτόνια και τα φωνόνια είναι κβάντα των ηλεκτρομαγνητικών και μηχανικών δονήσεων, αντίστοιχα. Έτσι, τα πλασμόνια είναι συλλογικές ταλαντώσεις της ελεύθερης πυκνότητας αερίου ηλεκτρονίων, για παράδειγμα, σε οπτικές συχνότητες. Τα πλασμόνια μπορούν να κάνουν ζευγάρι με ένα φωτόνιο και να δημιουργήσουν ένα άλλο quasiparticle που ονομάζεται πολαριτόνιο. Δεδομένου ότι τα πλασμόνια εκφράζουν την κβάντωση της κλασικής ταλάντωσης πλάσματος, οι περισσότερες

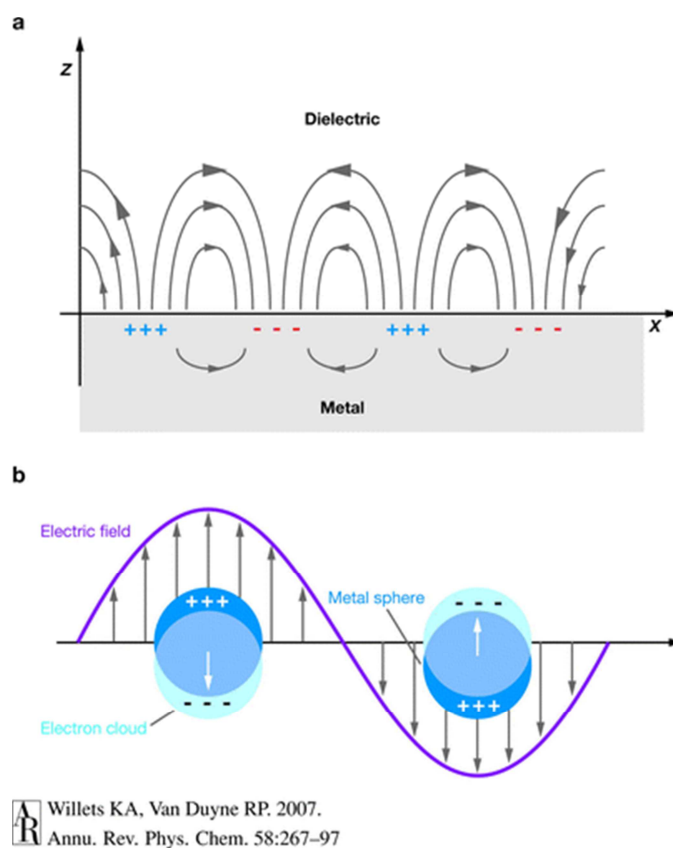
ιδιότητές τους μπορούν να προέρχονται απευθείας από τις εξισώσεις Maxwell.

\* Στη φυσική, τα **quasiparticles** και οι συλλογικές διεγέρσεις (που συνδέονται στενά) είναι αναδυόμενα φαινόμενα που συμβαίνουν όταν ένα μικροσκοπικά πολύπλοκο σύστημα, όπως ένα στερεό, συμπεριφέρεται σαν να περιείχε διαφορετικά ασθενή αλληλεπιδρώντα σωματίδια σε ελεύθερο χώρο. Αυτά τα φανταστικά σωματίδια συνήθως ονομάζονται “quasiparticles”, εφόσον σχετίζονται με φερμιόνια (όπως τα ηλεκτρόνια και οι οπές), ενώ ονομάζονται και “συλλογικές διεγέρσεις”, εφόσον σχετίζονται με μποζόνια (όπως φωνόνια και πλασμόνια), αν και η ακριβής διάκριση δεν είναι καθολικά αποδεκτή.

### 3.7.1 Εξήγηση

Τα Πλασμόνια μπορούν να περιγραφούν με την κλασική εικόνα ως ταλάντωση του ελεύθερου ηλεκτρονίου σε σχέση με τα σταθερά θετικά ιόντα σε ένα μέταλλο. Για να οπτικοποιηθεί μια ταλάντωση πλάσματος, φανταστείτε ένα κύβο του μετάλλου να τοποθετείται σε ένα εξωτερικό ηλεκτρικό πεδίο που δείχνει προς τα δεξιά. Τα ηλεκτρόνια θα κινηθούν προς την αριστερή πλευρά ( αποκαλύπτοντας τα θετικά ιόντα στη δεξιά πλευρά ), μέχρι να ακυρώσουν το πεδίο μέσα στο μέταλλο. Αν αφαιρεθεί το ηλεκτρικό πεδίο, τα ηλεκτρόνια κινούνται προς τα δεξιά, απωθούνται μεταξύ τους και έλκονται από τα θετικά ιόντα τα οποία μένουν γυμνά στη δεξιά πλευρά. Ταλαντώνονται μπρος και πίσω στη συχνότητα του πλάσματος έως ότου η ενέργεια χάνεται σε κάποιο είδος αντίστασης ή απόσβεσης. Τα πλασμόνια είναι μια κβαντοποίηση αυτού του είδους της ταλάντωσης.





**Σχήμα 3.10**

( a ) Επιφανειακό Πλασμόνιο

( b ) *Electron delocalization*. Μια επιφάνεια plasmon χαρακτηρίζεται ως ένα επιφανειακό φορτίο πυκνότητας κύματος σε μια μεταλλική επιφάνεια. ( Willets και Van Duyne, 2007 ) ( Πηγή : “ Nanoparticles and Nanoplasmonics ”, [www.numis.northwestern.edu](http://www.numis.northwestern.edu) )

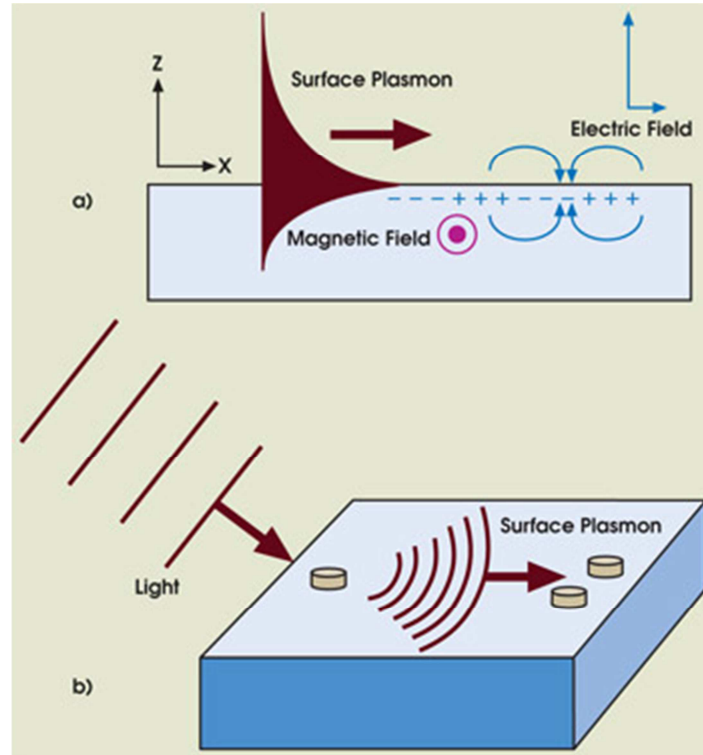
### 3.7.2 Τα Επιφανειακά πλασμόνια ( Surface Plasmons )

Τα επιφανειακά πλασμόνια είναι εκείνα τα πλασμόνια που περιορίζονται σε επιφάνειες και αλληλεπιδρούν έντονα με το φως με

αποτέλεσμα τη δημιουργία ενός πολარიτονίου. Προκύπτουν στη διεπαφή του κενού και του υλικού με μία μικρή θετική φανταστική και μεγάλη αρνητική πραγματική διηλεκτρική σταθερά (συνήθως ένα μέταλλο ή ενισχυμένο διηλεκτρικό). Παίζουν σημαντικό ρόλο στην τεχνική της επιφανειακής φασματοσκοπίας Raman και στην εξήγηση ανωμαλιών στη διάθλαση από μεταλλικά κιγκλιδώματα (ανωμαλία Wood), μεταξύ άλλων. Ο συντονισμός επιφανειακού πλάσμονιου χρησιμοποιείται από τους βιοχημικούς για τη μελέτη των μηχανισμών και της κινητικής των συνδεδετών πρόσδεσης με τους υποδοχείς (δηλαδή ένα υπόστρωμα συνδέσεως με ένα ένζυμο).

Πιο πρόσφατα τα επιφανειακά πλάσμονια χρησιμοποιούνται για τον έλεγχο των χρωμάτων των υλικών. Αυτό είναι δυνατόν αφού ελέγχοντας το σχήμα και το μέγεθος του σωματιδίου καθορίζουν τους τύπους των επιφανειακών πλάσμονίων που μπορούν να διαδίδονται σε αυτό. Αυτό με τη σειρά του ελέγχει την αλληλεπίδραση του φωτός με την επιφάνεια. Οι επιδράσεις αυτές απεικονίζονται από την ιστορική βιτρό που κοσμούν μεσαιωνικοί καθεδρικοί ναοί. Σε αυτήν την περίπτωση, το χρώμα δίνεται από μεταλλικά νανοσωματίδια ενός σταθερού μεγέθους τα οποία αλληλεπιδρούν με το οπτικό πεδίο για να δώσει στο γυαλί το ζωηρό χρώμα του. Στη σύγχρονη επιστήμη, οι επιδράσεις αυτές έχουν σχεδιαστεί για το ορατό φως και την ακτινοβολία μικροκυμάτων. Μεγάλο μέρος της έρευνας αφορά για πρώτη φορά την περιοχή των μικροκυμάτων, διότι σε αυτό το μήκος κύματος υλικές επιφάνειες μπορούν να παραχθούν μηχανικά όπως τα μοτίβα τείνουν να είναι της τάξης μερικών εκατοστών. Η παραγωγή οπτικού εφέ επιφανειακών πλάσμονίων περιλαμβάνει την παραγωγή επιφανειών οι οποίες έχουν χαρακτηριστικά μικρότερα των 400 nm. Αυτό είναι πολύ πιο δύσκολο

και μόνο πρόσφατα έχει γίνει δυνατό να γίνει με οποιοδήποτε αξιόπιστο ή διαθέσιμο τρόπο .



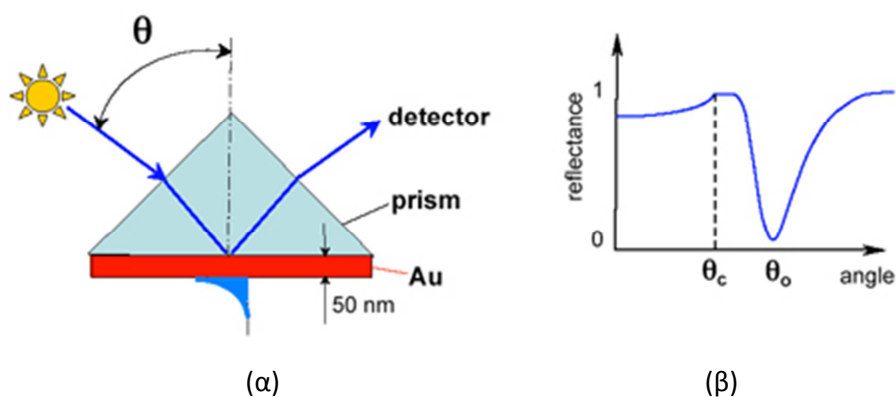
**Σχήμα 3.11**

(α) Μια σχηματική αναπαράσταση της κατανομής πεδίου του επιφανειακού πλασμονίου δείχνει τον προσανατολισμό του ηλεκτρικού (μπλε) και μαγνητικού (μοβ) πεδίου.

(β) Υπάρχουν διάφορα σενάρια για ζευγάρι φωτός μεγάλου μήκους κύματος σε μικρού μήκους κύματος επιφανειακά πλασμόνια που μπορούν να αλληλεπιδράσουν αποτελεσματικά με νανοδομές. ( Πηγή : “Nanophotonics with Surface Plasmons Part I”, [www.photonics.com](http://www.photonics.com) )

### 3.7.3 Ο ρόλος των πλασμονίων

Τα πλασμόνια παίζουν σημαντικό ρόλο στις οπτικές ιδιότητες των μετάλλων. Φως με συχνότητα μικρότερη από την συχνότητα του πλάσματος ανακλάται, επειδή τα ηλεκτρόνια του μετάλλου προβάλλουν το ηλεκτρικό πεδίο του φωτός. Ακτινοβολία με συχνότητα μεγαλύτερη από τη συχνότητα πλάσματος μεταδίδεται, επειδή τα ηλεκτρόνια δεν μπορούν να ανταποκριθούν αρκετά γρήγορα ώστε να το προβάλλουν. Στα περισσότερα μέταλλα, η συχνότητα πλάσματος είναι στην υπεριώδη περιοχή, καθιστώντας τα λαμπερά (ανακλαστικά) στην ορατή περιοχή. Ορισμένα μέταλλα, όπως ο χαλκός και ο χρυσός, έχουν ηλεκτρονικές μεταπτώσεις μέσα στην ίδια ενεργειακή ζώνη στην ορατή περιοχή, όπου οι συγκεκριμένες φωτεινές ενέργειες (χρώματα) απορροφούνται, αποδίδοντας το ξεχωριστό χρώμα τους. Σε ημιαγωγούς, η συχνότητα του πλασμονίου ηλεκτρονίων σθένους είναι συνήθως στο βαθύ υπεριώδες, η οποία είναι ο λόγος που είναι αντανακλαστική στις συχνότητες αυτές.



**Σχήμα 3.12**

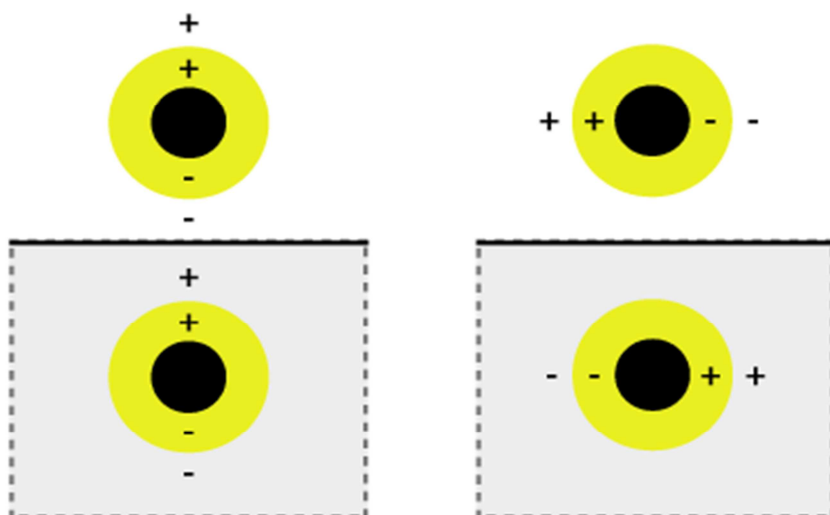
ATR ρύθμιση για τη διέγερση επιφανειακών πλασμονίων (PSP) σε Kretschmann γεωμετρία: (α) ένα λεπτό μεταλλικό φιλμ (πάχους  $\sim 50\text{nm}$ )

εξατμίζεται στη βάση ενός γυάλινου πρίσματος και δρα ως αντηχείο καθοδηγούμενο από το πεδίο φωτονίων ( $\beta$ ) η συντονιστική διέγερση του κύματος PSP φαίνεται στην καμπύλη ανακλαστικότητας, όπως μια απότομη βουτιά στη γωνία σύζευξης  $\theta_0$ . ( Πηγή : [turroserver.chem.columbia.edu](http://turroserver.chem.columbia.edu) )

### 3.7.4 Το Νανοκέλυφος ( Nanoshell )

Ένα νανοκέλυφος, ή μάλλον ένα πλασματικό νανοκέλυφος, είναι ένα είδος σφαιρικού νανοσωματιδίου αποτελούμενο από ένα διηλεκτρικό πυρήνα που καλύπτεται από ένα λεπτό μεταλλικό κέλυφος (συνήθως χρυσό). Αυτά τα νανοκελύφη περιλαμβάνουν ένα quasiparticle που ονομάζεται πλασμόνιο το οποίο είναι μια συλλογική διέγερση ή η κβαντική ταλάντωση του πλάσματος, όπου τα ηλεκτρόνια ταλαντώνονται ταυτόχρονα σε σχέση με όλα τα ιόντα. Η ταυτόχρονη ταλάντωση μπορεί να ονομάζεται υβριδισμός πλασμονίου όπου η συχνότητα της ταλάντωσης συνδέεται με μίγμα του εσωτερικού και του εξωτερικού κελύφους, όπου υβριδοποιούνται για να δώσει μια χαμηλότερη ή υψηλότερη ενέργεια. Αυτή η χαμηλότερη ενέργεια ενώνεται στο προσπίπτον φως ενώ η υψηλότερη ενέργεια συνδυάζεται ασθενώς στο προσπίπτον φως. Η αλληλεπίδραση υβριδισμού είναι ισχυρότερη για λεπτότερες στρώσεις κελύφους, ως εκ τούτου, το πάχος του κελύφους και η συνολική ακτίνα σωματιδίων καθορίζει με ποιό μήκος κύματος του φωτός κάνει ζεύγη. Τα νανοκελύφοι μπορούν να μεταβάλλονται σε ένα μεγάλο εύρος του φάσματος φωτός που καλύπτει το ορατό και τις κοντινές υπέρυθρες περιοχές. Η

αλληλεπίδραση του φωτός και των νανοσωματιδίων επηρεάζει τις τοποθετήσεις των φορτίσεων, οι οποίες επηρεάζουν τη δύναμη σύζευξης. Το προσπίπτον φως πολωμένο παράλληλα με το υπόστρωμα δίνει μια s-πόλωση ως εκ τούτου, οι φορτίσεις είναι μακρύτερες από την επιφάνεια του υποστρώματος η οποία δίνει μια ισχυρότερη αλληλεπίδραση μεταξύ του κελύφους και του πυρήνα. Διαφορετικά, μια p-πόλωση σχηματίζεται η οποία δίνει μια πιο έντονα μετατοπισμένη ενέργεια plasmon προκαλώντας μια ασθενέστερη αλληλεπίδραση και σύζευξη.



**Σχήμα 3.13**

Απεικόνιση ενός Νανοκέλυφους ( Πηγή: *Polarization.gif*, *Wikipedia The Free Encyclopedia* )

Ο λόγος γιατί αυτή η μέθοδος είναι επαναστατική είναι ότι το μέγεθος και το σχετικό πάχος του χρυσού νανοκέλυφους μπορούν να ελεγχθούν

αλλάζοντας την ποσότητα του χρόνου ώστε να γίνει η αντίδραση καθώς και η συγκέντρωση του διαλύματος επιμετάλλωσης. Επιτρέπεται έτσι στους ερευνητές να προσαρμόσουν τα σωματίδια για να ταιριάζουν στις ανάγκες που έχουν, όπως για την οπτική ή τη θεραπεία του καρκίνου.

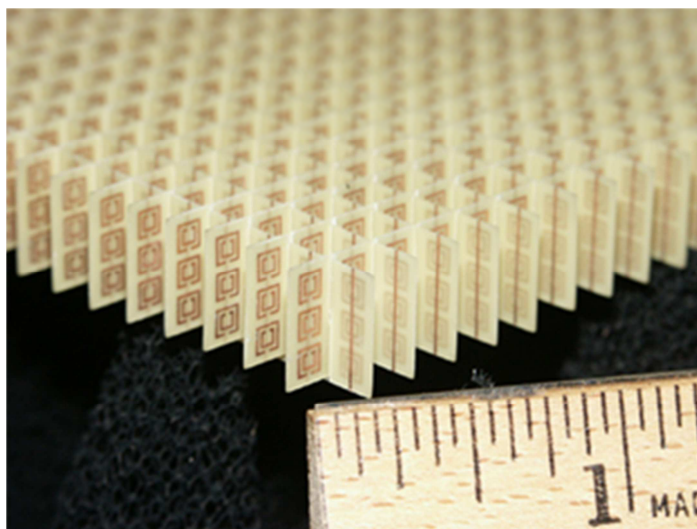
### **3.8 Τα Μεταϋλικά ( Metamaterials)**

Τα Μεταϋλικά είναι τεχνητά υλικά κατασκευασμένα για να έχουν ιδιότητες που δεν μπορούν να βρεθούν στη φύση. Πρόκειται για συγκροτήματα πολλών μεμονωμένων στοιχείων που διαμορφώνονται από συμβατικά μικροσκοπικά υλικά, όπως μέταλλα ή πλαστικά, αλλά τα υλικά συνήθως διατάσσονται σε επαναλαμβανόμενα μοτίβα. Τα Μεταϋλικά έχουν ιδιότητες όχι από τη σύνθεσή τους, αλλά από τις σχεδιασμένες δομές τους. Το ακριβές σχήμα, η γεωμετρία, το μέγεθος, ο προσανατολισμός και η διάταξή τους μπορούν να επηρεάσουν τα κύματα του φωτός (ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία) ή ήχου με ένα αντισυμβατικό τρόπο, δημιουργώντας ιδιότητες των υλικών που είναι ανέφικτες με τα συμβατικά υλικά. Αυτά τα Μεταϋλικά πετυχαίνουν επιθυμητά αποτελέσματα με την ενσωμάτωση δομικών στοιχείων των υπο-μήκους κύματος μεγεθών, δηλαδή χαρακτηριστικά που είναι στην πραγματικότητα μικρότερα από το μήκος κύματος των κυμάτων που επηρεάζουν.

Η πρωτογενής έρευνα σε μεταϋλικά εξετάζει υλικά που είναι σε θέση να αντιστρέψουν το δείκτη διάθλασης. Αυτά τα υλικά, που είναι γνωστά ως αρνητικού δείκτη μεταϋλικά, επιπλέον επιτρέπουν τη δημιουργία υπερφακών που μπορούν να αυξήσουν σημαντικά την οπτική ανάλυση πέρα από την ικανότητα των συμβατικών φακών, προσφέροντας λύση για το μακράιωνο πρόβλημα των συστημάτων περιορισμένης διάθλασης. Σε άλλες εργασίες, μια μορφή της «αορατότητας» έχει αποδειχθεί τουλάχιστον πάνω από μια στενή ζώνη συχνοτήτων. Αν και τα πρώτα μεταϋλικά ήταν ηλεκτρομαγνητικά, τα ακουστικά και σεισμικά μεταϋλικά είναι επίσης ερευνούνται.

Οι εφαρμογές των μεταϋλικών είναι ποικίλες και περιλαμβάνουν τηλεχειριζόμενες αεροδιαστημικές εφαρμογές, την ανίχνευση και την ενέργεια, τη δημόσια ασφάλεια, σφαιρικούς θόλους, επικοινωνία υψηλής συχνότητας σε πεδίο μάχης και φακούς για κεραιές υψηλής απολαβής, βελτίωση υπέρηχων αισθητήρων ακόμα και θωρακισμένες κατασκευές από σεισμούς. Η έρευνα σε μεταϋλικά είναι διεπιστημονική και περιλαμβάνει τομείς όπως την ηλεκτρολογία, τον ηλεκτρομαγνητισμό, τη φυσική στερεάς κατάστασης, τη μικροκυματική και μηχανική κεραιών, την οπτοηλεκτρονική, την κλασική οπτική, την επιστήμη των υλικών, τη μηχανική ημιαγωγών, τις νανοεπιστήμες και άλλα.



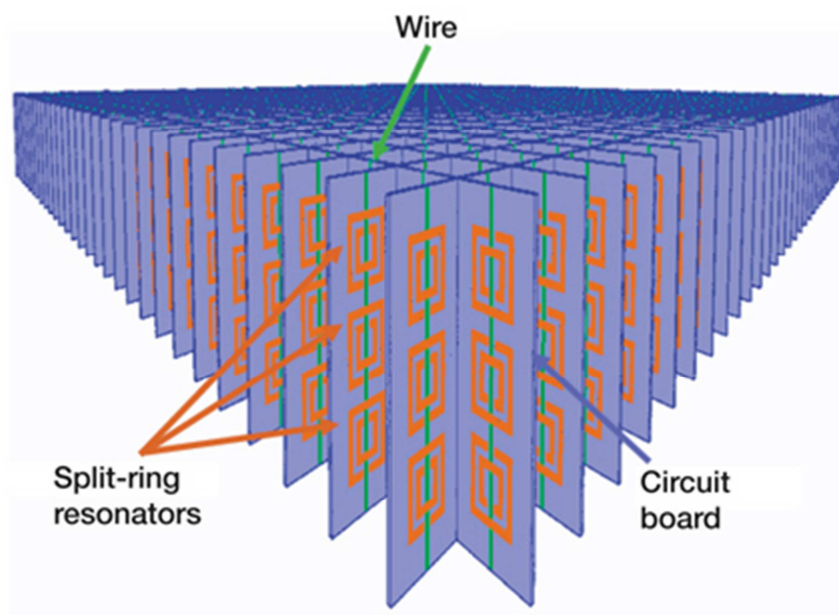


**Σχήμα 3.14**

Διαμόρφωση συστοιχίας αρνητικού δείκτη μεταλλικού, η οποία κατασκευάστηκε από χάλκινα *split-ring resonators* και σύρματα τοποθετημένα σε σύμπλεξη φύλλων *fiberglass* πλακέτας κυκλώματος. Η συνολική σειρά αποτελείται από 3 με  $20 \times 20$  μονάδες κυττάρων με συνολικές διαστάσεις  $10 \times 100 \times 100$  mm. ( Πηγή : File:Split-ring resonator array 10K sq nm.jpg, Wikipedia The Free Encyclopedia)

### **3.8.1 Split-ring resonator**

Ένας *Split-ring resonator (SRR)* είναι μια τεχνητά παραγόμενη δομή κοινή με τα μεταλλικά. Σκοπός τους είναι να παράγουν την επιθυμητή μαγνητική επιδεκτικότητα (μαγνητική απόκριση) σε διάφορους τύπους μεταλλικών έως 200 terahertz. Αυτά τα μέσα δημιουργούν την απαιτούμενη ισχυρή μαγνητική σύζευξη σε ένα εφαρμοζόμενο ηλεκτρομαγνητικό πεδίο, που δεν είναι διαθέσιμη με άλλο τρόπο σε συμβατικά υλικά. Για παράδειγμα, ένα φαινόμενο όπως η αρνητική διαπερατότητα παράγεται με την περιοδική σειρά των SRR.



**Σχήμα 3.15**

*Split-ring resonator που αποτελείται από ένα εσωτερικό τετράγωνο με μια διάσπαση στη μία πλευρά ενσωματωμένο σε ένα εξωτερικό τετράγωνο με μια διάσπαση στην άλλη πλευρά. Split-ring resonators είναι στις μπροστινές και δεξιά επιφάνειες του τετραγωνικού πλέγματος και μονά κατακόρυφα σύρματα είναι στις πίσω και αριστερά επιφάνειες. ( Πηγή : Left-handed metamaterial array configuration.jpg, Wikipedia The Free Encyclopedia )*

Ένα ενιαίο SRR κύτταρο έχει ένα ζεύγος κλειστών βρόχων με διασπάσεις σε αυτούς στα αντίθετα άκρα. Οι βρόχοι είναι κατασκευασμένοι από μη μαγνητικό μέταλλο όπως ο χαλκός και έχουν ένα μικρό διάκενο μεταξύ τους. Οι βρόχοι μπορούν να είναι ομόκεντροι ή τετράγωνοι. Η μαγνητική ροή διαπερνώντας τα μεταλλικά δακτυλίδια θα επάγει περιστρεφόμενα ρεύματα στους δακτυλίους, οι οποίοι παράγουν τη δική τους ροή για να ενισχύσουν ή να απορρίψουν το προσπίπτον πεδίο (ανάλογα με τις SRRS συντονιζόμενες ιδιότητες). Αυτό το πρότυπο πεδίου είναι διπολικό. Λόγω διασπάσεων στους δακτυλίους η δομή

μπορεί να υποστηρίξει συντονιζόμενα μήκη κύματος πολύ μεγαλύτερα από τη διάμετρο των δακτυλίων. Αυτό δεν θα συνέβαινε σε κλειστούς δακτυλίους. Τα μικρά κενά μεταξύ των δακτυλίων παράγουν μεγάλες τιμές χωρητικότητας που μειώνουν τη συχνότητα συντονισμού. Οι διαστάσεις της δομής είναι μικρές σε σύγκριση με το μήκος κύματος συντονισμού. Αυτό οδηγεί σε μικρές απώλειες ακτινοβολίας καθώς και σε παράγοντες πολύ υψηλής ποιότητας.

### **3.9 Ο υπέρ-φακός ( Superlense )**

Ένας πρακτικός *υπέρ-φακός* είναι ένας φακός που χρησιμοποιεί μεταϋλικά για να πάει πέρα από το όριο περίθλασης. Το όριο διάθλασης είναι ένας εγγενής περιορισμός σε συμβατικές οπτικές συσκευές ή φακούς. Όπως ο Ernst Abbe αναφέρθηκε το 1873, ο φακός της φωτογραφικής μηχανής ή μικροσκόπιο είναι ανίκανος να συλλάβει μερικές πολύ μικρές λεπτομέρειες της κάθε εικόνας. Ο υπέρ-φακός, από την άλλη πλευρά, προορίζεται να συλλάβει αυτές τις μικρές λεπτομέρειες. Ως εκ τούτου, οι περιορισμοί των συμβατικών φακών παρεμποδίζουν την πρόοδο σε ορισμένους τομείς των βιολογικών επιστημών. Αυτό συμβαίνει επειδή ένα μόριο DNA ιού είναι εκτός του

οπτικού φάσματος των υψηλότερων ισχύος μικροσκοπίων. Επίσης, ο περιορισμός αυτός παρεμποδίζει τις διαδικασίες κυτταρικών πρωτεϊνών που κινούνται παράλληλα με μικροσωληνίσκους ενός ζωντανού κυττάρου στο φυσικό τους περιβάλλον. Επιπλέον, τα τσιπ υπολογιστών και άλλων συναφών μικροηλεκτρονικών κατασκευάζονται σε όλο και μικρότερες κλίμακες. Αυτό απαιτεί εξειδικευμένο οπτικό εξοπλισμό, ο οποίος είναι επίσης περιορισμένος, διότι κι αυτός χρησιμοποιεί το συμβατικό φακό. Ως εκ τούτου, οι αρχές που διέπουν ένα σούπερ φακό δείχνουν ότι έχει δυνατότητες για την απεικόνιση ενός μορίου DNA και κυτταρικών διεργασιών πρωτεΐνης ή για υποβοήθηση στην κατασκευή ακόμη μικρότερων τσιπ υπολογιστών και της μικροηλεκτρονικής. Επιπλέον, οι συμβατικοί φακοί καταγράφουν μόνο τα πολλαπλασιαστικά κύματα φωτός. Αυτά είναι τα κύματα που ταξιδεύουν από μία φωτεινή πηγή ή ένα αντικείμενο σε ένα φακό ή το ανθρώπινο μάτι. Αυτό μπορεί εναλλακτικά να μελετηθεί σαν μακρινό πεδίο. Σε αντίθεση, ο υπέρ-φακός, συλλαμβάνει τα πολλαπλασιαστικά κύματα φωτός και τα κύματα που παραμένουν στην κορυφή της επιφάνειας ενός αντικειμένου, η οποία, εναλλακτικά, μπορεί να μελετηθεί ως μακρινό και κοντινό πεδίο. Με άλλα λόγια, ένας υπέρ-φακός είναι ένας οπτικός φακός με δυνατότητες ανάλυσης που πηγαίνουν ουσιαστικά πέρα από τα συνηθισμένα μικροσκόπια. Μια τέτοια συσκευή θα μπορούσε να προωθήσει σημαντικά το πεδίο των οπτικών και οπτικών μηχανικής. Το 2000, κατασκευάστηκε ένας τύπος φακού που αποτελείτο από ένα μεταϋλικό που αντισταθμίζει τη διάσπαση του κύματος και ανασυγκροτεί τις εικόνες στο κοντινό πεδίο. Επιπλέον, το πολλαπλασιαστικό υλικό και τα παροδικά κύματα συμβάλλουν στην ανάλυση της εικόνας. Η Θεωρία και οι

προσομοιώσεις δείχνουν ότι οι υπέρ-φακοί μπορούν να δουλέψουν αλλά πρέπει να ξεπεραστούν τα εμπόδια της μηχανικής.

### 3.10 Ερωτήσεις

- Τι εξετάζει η *Νανοφωτονική* ;
- Ποιο είναι το φυσικό νόημα του *δείκτη διάθλασης* ;
- Τι είναι το *διηλεκτρικό κάτοπτρο* ;  
Ποια είναι η χρησιμότητά του ;
- Τι γνωρίζετε για τους *φωτονικούς κρυστάλλους* ;
- Περιγράψτε το *Ατομικό πρότυπο Bohr* ;  
Ποια είναι τα μειονεκτήματά του ;
- Πού είναι χρήσιμη η *εξίσωση του Schrödinger* ;
- Τι είναι η *ζώνη σθένους* ;  
Τι είναι η *ζώνη αγωγιμότητας* ;

- Πώς δημιουργείται ένα εξιτόνιο ;
- Τι είναι το κβαντικό πηγάδι ;
- Τι είναι το πλασμόνιο ;  
 Πώς περιγράφεται ένα πλασμόνιο ;  
 Ποιος είναι ο ρόλος των πλασμονίων ;  
 Τι είναι το επιφανειακό πλασμόνιο ;
- Τι γνωρίζετε για το Νανοκέλυφος ;
- Τι γνωρίζετε για τα Μεταύλικά ;

## **Κεφάλαιο 4 : Ο Νανομαγνητισμός**

### **4.1 Εισαγωγή**

Ο Νανομαγνητισμός είναι ο τομέας της έρευνας στο πεδίο της φυσικής, ο οποίος ασχολείται με τις μαγνητικές ιδιότητες των αντικειμένων που έχουν τουλάχιστον μία διάσταση στο νανοσκοπικό επίπεδο. Ο Νανομαγνητισμός περιλαμβάνει στο πεδίο εφαρμογής του, τη μελέτη των ιδιοτήτων και των εφαρμογών του μαγνητισμού των μεμονωμένων νανοσωματιδίων, νανοκουκίδων, νανοσυρμάτων, λεπτών υμενίων και μακροσκοπικών δειγμάτων που περιέχουν νανοσωματίδια. Τα υλικά που περιέχουν τα σωματίδια, επιφάνειες, και άλλες δομές της

νανοκλίμακας συχνά περιγράφονται ως νανοδομημένα υλικά. Ο Νανομαγνητισμός έχει πολλές πρακτικές εφαρμογές, από τη γεωλογία στη μαγνητική καταγραφή, από σιδηρο-ρευστά που χρησιμοποιούνται σε μεγάφωνα έως μικρά σωματίδια που χρησιμοποιούνται στην ιατρική, τα οποία μπορούν να κατευθύνονται σε συγκεκριμένα όργανα και ιστούς, είτε για τη διανομή φαρμάκων ή για την εφαρμογή της τεχνικής της μαγνητικής υπερθερμίας.

Τα μαγνητικά νανοσωματίδια υπάρχουν σε πολλά πετρώματα και εδάφη. Η ευθυγράμμιση των μαγνητικών ροπών τους υπό την επίδραση του γεωμαγνητικού πεδίου επιτρέπει τη μελέτη της εξέλιξης του μαγνητισμού της Γης και τον προσδιορισμό της ηλικίας της. Αυτή η ευθυγράμμιση μπορεί επίσης να ενημερώσει σχετικά με το παρελθόν των ανθρώπινων δραστηριοτήτων. Τα νανοσωματίδια μαγνητικών υλικών, συνήθως από μαγνητίτη ( magnetite ), εμφανίζονται επίσης σε ζωντανούς οργανισμούς. Ίσως το καλύτερα μελετημένο παράδειγμα είναι αυτό των μαγνητοστατικών βακτηρίων, τα οποία, μέσω μαγνητικών νανοκόκκων ευθυγραμμίζονται από το μαγνητικό πεδίο της Γης . Αυτοί οι κόκκοι συντίθενται από τα βακτήρια, σε μια διαδικασία που ονομάζεται biomineralization. Νανομαγνητικές δομές έχουν επίσης εντοπισθεί σε έντομα, πουλιά και άλλα πλάσματα.

Τέλος, η πιο επιτυχημένη εφαρμογή του νανομαγνητισμού υπήρξε η μαγνητική εγγραφή, η οποία υιοθέτησε αυτήν την τεχνολογία μετά τις εξελίξεις στον τομέα την τελευταία δεκαετία. Αυτή η εξέλιξη αντιπροσωπεύεται από την πυκνότητα εμφάνισης των μαγνητικών σκληρών δίσκων, η οποία αυξήθηκε κατά έναν παράγοντα πολλών δεκάδων εκατομμυρίων από την εισαγωγή στην αγορά αυτής της τεχνολογίας. Προκειμένου να αυξηθεί η χωρητικότητα αποθήκευσης,

ήταν απαραίτητη μια μεγάλη προσπάθεια για τη μελέτη των ιδιοτήτων των μικρών μαγνητικών σωματιδίων, καθώς επίσης και των μαγνητικών λεπτών ζωνών που είναι ένα θεμελιώδες δομικό στοιχείο των σκληρών δίσκων και των μαγνητικών κεφαλών ανάγνωσης.

## 4.2 Το Μαγνητικό Πεδίο ( Magnetic field )

Το Μαγνητικό πεδίο είναι γενικά ο χώρος μέσα στον οποίο παρατηρούνται μαγνητικές δυνάμεις. Το μαγνητικό πεδίο περιβάλλει τον μαγνήτη και χαρακτηρίζεται ασθενές ή ισχυρό, και ομοιόμορφο ή ανομοιόμορφο, αν οι μαγνητικές γραμμές του είναι παράλληλες ή όχι. Οφείλεται σε κινούμενα ηλεκτρικά φορτία και σχηματίζεται γύρω από ρευματοφόρους αγωγούς. Το χρονικά μεταβαλλόμενο μαγνητικό πεδίο αλληλεπιδρά με το χρονικά μεταβαλλόμενο ηλεκτρικό πεδίο.

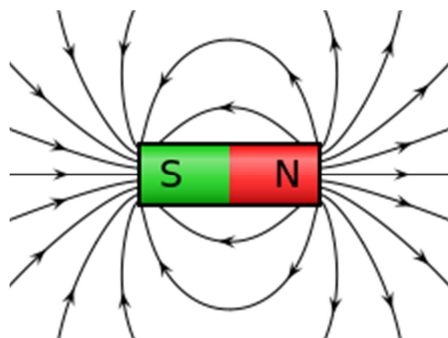
Το μαγνητικό πεδίο είναι μια μαθηματική περιγραφή της μαγνητικής αλληλεπίδρασης των ηλεκτρικών ρευμάτων και των μαγνητικών υλικών. Το μαγνητικό πεδίο σε κάθε δεδομένο σημείο καθορίζεται από μια κατεύθυνση και ένα πλάτος/μέτρο (ή αντοχή) ως εκ τούτου είναι ένα διάνυσμα. Ο όρος χρησιμοποιείται για δύο διακριτά αλλά στενά συνδεδεμένα πεδία που σημειώνονται με τα σύμβολα  $B$  και  $H$ , τα οποία μετρούνται σε μονάδες tesla και  $A/m$ , αντίστοιχα, στο SI. Το  $B$  καθορίζεται συχνότερα σε όρους της δύναμης Lorentz που ασκείται σε κινούμενα ηλεκτρικά φορτία.

Τα μαγνητικά πεδία παράγονται από κινούμενα ηλεκτρικά φορτία και τις εγγενείς μαγνητικές ροπές των στοιχειωδών σωματιδίων που συνδέονται με τη θεμελιώδη κβαντική ιδιότητα, την περιστροφή και την



ιδιοπεριστροφή τους. Ειδικότερα, τα ηλεκτρικά και μαγνητικά πεδία είναι δύο αλληλένδετες πτυχές ενός ενιαίου αντικειμένου, που ονομάζεται ηλεκτρομαγνητικό τανυστής. Η διάσπαση αυτού του τανυστή σε ηλεκτρικά και μαγνητικά πεδία εξαρτάται από τη σχετική ταχύτητα του παρατηρητή και του φορτίου. Στην κβαντική φυσική, το ηλεκτρομαγνητικό πεδίο είναι κβαντισμένο και οι ηλεκτρομαγνητικές αλληλεπιδράσεις προκύπτουν από την ανταλλαγή των φωτονίων.

Στην καθημερινή ζωή, τα μαγνητικά πεδία συχνά παρουσιάζονται ως μια αόρατη δύναμη που δημιουργείται από μόνιμους μαγνήτες που τραβούν σιδηρομαγνητικά υλικά όπως ο σίδηρος, το κοβάλτιο ή νικέλιο και προσελκύουν ή απωθούν άλλους μαγνήτες. Τα μαγνητικά πεδία χρησιμοποιούνται ευρύτατα σε όλη την σύγχρονη τεχνολογία, ιδιαίτερα στον τομέα της ηλεκτρονικής και ηλεκτρομηχανικής. Η Γη παράγει το δικό της μαγνητικό πεδίο, το οποίο είναι σημαντικό στην πλοήγηση. Περιστρεφόμενα μαγνητικά πεδία χρησιμοποιούνται στους ηλεκτρικούς κινητήρες και γεννήτριες. Οι μαγνητικές δυνάμεις δίνουν πληροφορίες για το είδος των φορέων φορτίου σε ένα υλικό μέσω του φαινομένου Hall. Η αλληλεπίδραση των μαγνητικών πεδίων σε ηλεκτρικές συσκευές, όπως μετασχηματιστές μελετάται στον τομέα των μαγνητικών κυκλωμάτων.



### Σχήμα 4.1

Μαγνητικό πεδίο ενός ιδανικού κυλινδρικού μαγνήτη με τον άξονα συμμετρίας του στο εσωτερικό του επιπέδου της εικόνας. Το μαγνητικό πεδίο αντιπροσωπεύεται από τις γραμμές του μαγνητικού πεδίου, οι οποίες δείχνουν την κατεύθυνση του πεδίου σε διαφορετικά σημεία. ( Πηγή : VFPT cylindrical magnet thumb.svg, Wikipedia The Free Encyclopedia )

#### 4.2.1 Μονάδες μέτρησης

Σε μονάδες SI, το μαγνητικό πεδίο  $B$  μετριέται σε Tesla (σύμβολο: T) και αντίστοιχα η μαγνητική ροή  $\Phi_B$  μετριέται σε Webers (σύμβολο: Wb) έτσι ώστε μια πυκνότητα ροής  $1 \text{ Wb/m}^2$  είναι 1 tesla. Η μονάδα SI του tesla είναι ισοδύναμη με την  $(\text{newton} \cdot \text{second}) / (\text{Coulomb} \cdot \text{metre})$ . Σε γκαουσιανές μονάδες CGS, το  $B$  μετριέται σε gauss (σύμβολο: G). (Η μετατροπή είναι  $1 \text{ T} = 10.000 \text{ G}$ ). Το μαγνητικό πεδίο μετριέται σε αμπέρ ανά μέτρο ( $\text{A} / \text{m}$ ) σε μονάδες SI και oersteds (Oe) σε μονάδες cgs.

#### 4.3 Κατηγορίες Μαγνητισμού

### 4.3.1 Διαμαγνητισμός

Ο Διαμαγνητισμός εμφανίζεται σε όλα τα υλικά και είναι η τάση του υλικού να αντιταχθεί σε ένα εφαρμοζόμενο μαγνητικό πεδίο, και ως εκ τούτου, να απωθείται από ένα μαγνητικό πεδίο. Ωστόσο, σε ένα υλικό με παραμαγνητικές ιδιότητες (δηλαδή, με μια τάση να ενισχύσει ένα εξωτερικό μαγνητικό πεδίο), η παραμαγνητική συμπεριφορά κυριαρχεί. Έτσι, παρά την καθολική εμφάνισή του, η διαμαγνητική συμπεριφορά παρατηρείται μόνο σε ένα καθαρά διαμαγνητικό υλικό. Σε ένα διαμαγνητικό υλικό, δεν υπάρχουν μη ζευγαρωμένα ηλεκτρόνια, έτσι ώστε οι εγγενείς μαγνητικές ροπές ηλεκτρονίων δεν μπορούν να παράγουν οποιαδήποτε επίδραση. Σε αυτές τις περιπτώσεις, η μαγνήτιση προκύπτει από τροχιακές κινήσεις των ηλεκτρονίων, η οποία μπορεί να κατανοηθεί κλασικά ως εξής:

Όταν ένα υλικό τοποθετείται σε ένα μαγνητικό πεδίο, τα ηλεκτρόνια που περιβάλλουν τον πυρήνα αισθάνονται, εκτός από την έλξη Coulomb από στον πυρήνα, μία δύναμη Lorentz από το μαγνητικό πεδίο. Ανάλογα με την κατεύθυνση περιστροφής του ηλεκτρονίου, η δύναμη Lorentz αυξάνει την κεντρομόλο δύναμη που αισθάνονται, τραβώντας τα προς τον πυρήνα, ή μειώνει τη δύναμη, αποθώντας έξω από τον πυρήνα. Αυτή η επίδραση αυξάνει τις τροχιακές μαγνητικές ροπές που ευθυγραμμίστηκαν απέναντι από το πεδίο και μειώνει αυτές που ευθυγραμμίστηκαν παράλληλα προς το πεδίο (σύμφωνα με το νόμο του Lenz). Αυτό οδηγεί σε ένα μικρό όγκο μαγνητικής ροπής, με αντίθετη κατεύθυνση προς το εφαρμοζόμενο πεδίο. Να σημειωθεί ότι αυτή η περιγραφή προορίζεται μόνο ως ευρετικός μηχανισμός. Για σωστή κατανόηση απαιτείται κβαντομηχανική περιγραφή. Επιπλέον, να

σημειωθεί ότι όλα τα υλικά υποβάλλονται σε αυτήν την τροχιακή αντίδραση. Ωστόσο, σε παραμαγνητικές και σιδηρομαγνητικές ουσίες, η διαμαγνητική επίδραση επικαλύπτεται από τις ισχυρότατες επιπτώσεις που προκαλούνται από τα ασύζευκτα ηλεκτρόνια.

### **4.3.2 Παραμαγνητισμός**

Σε ένα παραμαγνητικό υλικό υπάρχουν ασύζευκτα ηλεκτρόνια, δηλαδή ατομικές ή μοριακές τροχιακές με ακριβώς ένα ηλεκτρόνιο σε αυτές. Ενώ τα ζεύγη ηλεκτρονίων από την απαγορευτική αρχή του Pauli οι μαγνητικές ροπές τους είναι σε αντίθετες κατευθύνσεις, προκαλώντας την εξουδετέρωση των μαγνητικών τους πεδίων, ένα ασύζευκτο ηλεκτρόνιο είναι ελεύθερο να ευθυγραμμίσει τη μαγνητική ροπή του προς οποιαδήποτε κατεύθυνση. Όταν εφαρμόζεται ένα εξωτερικό μαγνητικό πεδίο, αυτές οι μαγνητικές ροπές θα τείνουν να ευθυγραμμιστούν στην ίδια κατεύθυνση με το εφαρμοζόμενο πεδίο, ενισχύοντάς το έτσι.

### **4.3.3 Σιδηρομαγνητισμός**

Ένας σιδηρομαγνήτης, σαν παραμαγνητική ουσία, έχει ασύζευκτα ηλεκτρόνια. Ωστόσο, εκτός από την τάση των ηλεκτρονίων η ενδογενής μαγνητική ροπή τους να είναι παράλληλη προς ένα εφαρμοζόμενο πεδίο, υπάρχει επίσης σε αυτά τα υλικά μια τάση για αυτές τις μαγνητικές ροπές να προσανατολίζονται παράλληλα μεταξύ τους για να

διατηρηθεί μια κατάσταση μειωμένης ενέργειας. Έτσι, ακόμη και με την απουσία ενός εφαρμοσμένου πεδίου, οι μαγνητικές ροπές των ηλεκτρονίων στο υλικό αυθόρμητα ευθυγραμμίζονται παράλληλα η μια στην άλλη. Κάθε σιδηρομαγνητική ουσία χαρακτηρίζεται από τη δική της ατομική θερμοκρασία, γνωστή ως θερμοκρασία Curie, ή σημείο Curie, πάνω από το οποίο χάνει τις σιδηρομαγνητικές της ιδιότητες.

Ο σιδηρομαγνητισμός είναι ο βασικός μηχανισμός με τον οποίο ορισμένα υλικά (όπως ο σίδηρος) σχηματίζουν μόνιμους μαγνήτες ή έλκονται από μαγνήτες. Στη φυσική, διακρίνουμε αρκετούς διαφορετικούς τύπους μαγνητισμού. Ο Σιδηρομαγνητισμός είναι ο ισχυρότερος τύπος είναι το μόνο είδος που γεννά δυνάμεις αρκετά ισχυρές για να γίνουν αισθητές και είναι υπεύθυνος για τα γνωστά φαινόμενα του μαγνητισμού που συναντιούνται στην καθημερινή ζωή. Άλλα υλικά αλληλεπιδρούν ασθενώς με τα μαγνητικά πεδία και χαρακτηρίζονται ως, παραμαγνητικά και διαμαγνητικά, αλλά οι μαγνητικές δυνάμεις των υλικών αυτών είναι τόσο αδύναμες ώστε να μπορούν να ανιχνευθούν μόνο από ευαίσθητα εργαστηριακά όργανα. Ένα καθημερινό παράδειγμα σιδηρομαγνητισμού είναι ένας μαγνήτης ψυγείου που χρησιμοποιείται για να κρατήσει σημειώσεις στην πόρτα του ψυγείου.

Οι μόνιμοι μαγνήτες (υλικά που μπορούν να μαγνητίζονται από ένα εξωτερικό μαγνητικό πεδίο και παραμένουν μαγνητισμένα αφότου αφαιρεθεί το εξωτερικό πεδίο) είτε είναι σιδηρομαγνητικοί ή ferrimagnetic, όπως και άλλα υλικά που έλκονται αισθητά από αυτούς. Λίγα υλικά είναι σιδηρομαγνητικά όπως ο σίδηρος, το νικέλιο, το κοβάλτιο και τα περισσότερα από τα κράματά τους, μερικές ενώσεις σπανίων γαιομετάλλων και μερικά φυσικά ορυκτά όπως μαγνητίτης.

Ο Σιδηρομαγνητισμός είναι πολύ σημαντικός στον τομέα της βιομηχανίας και της σύγχρονης τεχνολογίας και είναι η βάση για πολλές ηλεκτρικές και ηλεκτρομηχανικές συσκευές, όπως ηλεκτρομαγνήτες, ηλεκτρικοί κινητήρες, γεννήτριες, μετασχηματιστές και μαγνητικής αποθήκευσης, όπως μαγνητόφωνα και οι σκληροί δίσκοι.

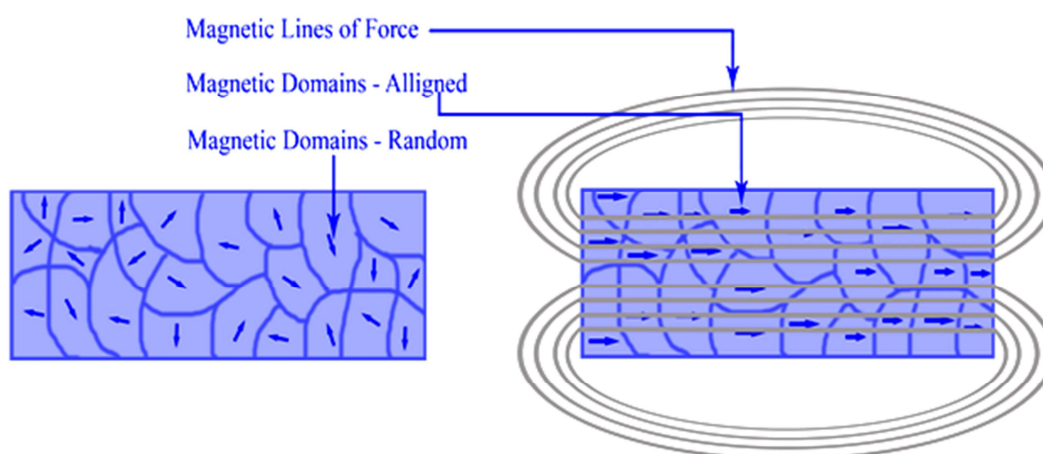


Fig. Ferromagnetism (a) Unmagnetized Material (b) Magnetized Material

### Σχήμα 4.2

Σιδηρομαγνητισμός (α) μη-μαγνητισμένο υλικό

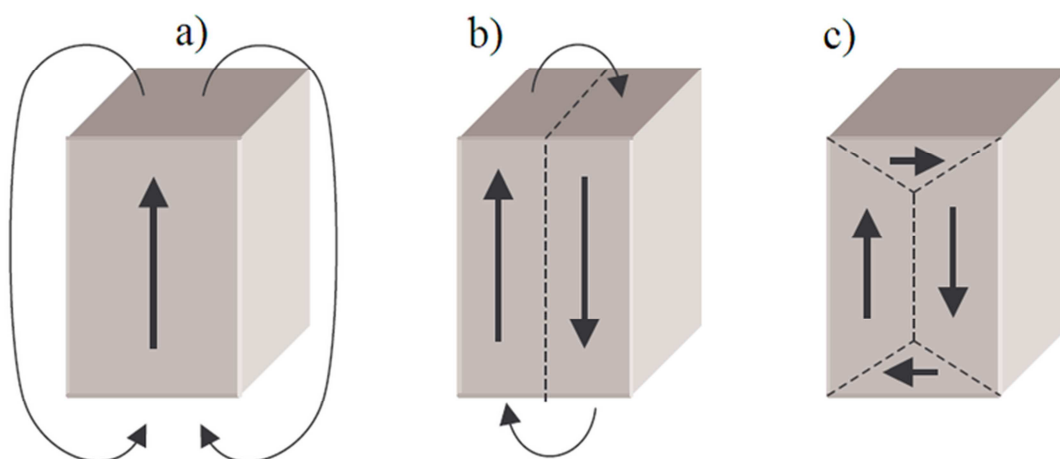
(β) μαγνητισμένο υλικό

( Πηγή : ICT Wiki Information and Communication Technology )

## 4.4 Μαγνητική περιοχή ( Magnetic domain )

Μια μαγνητική περιοχή είναι μια περιοχή μέσα σε ένα μαγνητικό υλικό το οποίο έχει ομοιόμορφη μαγνήτιση. Αυτό σημαίνει ότι οι επιμέρους μαγνητικές ροπές των ατόμων ευθυγραμμίζονται η μια με την άλλη και

δείχνουν προς την ίδια κατεύθυνση. Όταν ψύχεται κάτω από μία συγκεκριμένη θερμοκρασία που ονομάζεται θερμοκρασία Curie, η μαγνήτιση ενός μέρους από σιδηρομαγνητικό υλικό διαιρείται αυθόρμητα σε πολλές μικρές περιοχές που ονομάζονται μαγνητικές περιοχές ( magnetic domains ). Η μαγνήτιση μέσα σε κάθε περιοχή οδηγεί σε μια ενιαία κατεύθυνση, αλλά η μαγνήτιση των διαφορετικών περιοχών μπορεί να βρίσκεται σε διαφορετικές κατευθύνσεις. Η μαγνητική δομή της κάθε περιοχής είναι υπεύθυνη για την μαγνητική συμπεριφορά των σιδηρομαγνητικών υλικών όπως σίδηρο, νικέλιο, κοβάλτιο και τα κράματά τους, φερρίτες κ.λ.π. όπως ο σχηματισμός των μόνιμων μαγνητών. Οι περιοχές διαχωρισμού των μαγνητικών περιοχών ονομάζονται τοιχώματα τομέα ( domain walls ), όπου η μαγνήτιση περιστρέφεται συνεκτικά από την κατεύθυνση της μιας περιοχής προς εκείνη της επόμενης περιοχής. Η μελέτη των μαγνητικών τομέων ονομάζεται micromagnetics.



**Σχήμα 4.3**

*Πώς η διαίρεση ενός σιδηρομαγνητικού υλικού σε μαγνητικά πεδία μειώνει τη μαγνητοστατική ενέργεια ( Πηγή : Powstawanie domen by Zureks.png )*

#### **4.4.1 Δομή περιοχής**

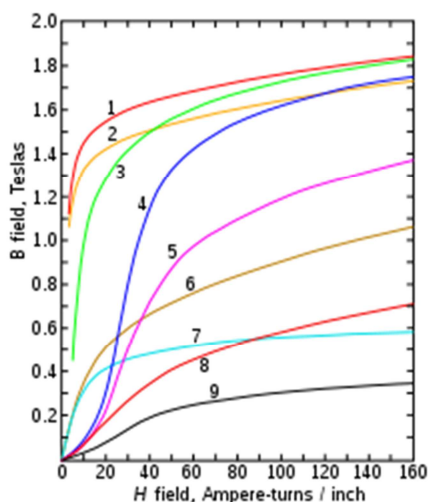
Ο λόγος γιατί ένα κομμάτι μαγνητικού υλικού, όπως ο σίδηρος να διαιρείται αυθόρμητα σε ξεχωριστές περιοχές, αντί να υπάρχει μια περιοχή με την ίδια μαγνήτιση, είναι για να ελαχιστοποιηθεί η εσωτερική ενέργεια του. Μια μεγάλη περιοχή από σιδηρομαγνητικό υλικό με σταθερή μαγνήτιση θα δημιουργήσει ένα μεγάλο μαγνητικό πεδίο που εκτείνεται και έξω από τα όριά του ( **Σχήμα 4.3 (α)** ). Αυτό απαιτεί μεγάλη αποθηκευμένη μαγνητοστατική ενέργεια στο πεδίο. Για να μειώσει αυτή την ενέργεια, το δείγμα μπορεί να χωριστεί σε δύο περιοχές, με τη μαγνήτιση σε αντίθετες κατευθύνσεις σε κάθε τομέα ( **Σχήμα 4.3 (b)** ). Οι γραμμές μαγνητικού πεδίου περνούν σε βρόχους σε αντίθετες κατευθύνσεις μέσα από κάθε τομέα, μειώνοντας το πεδίο έξω από το υλικό. Για να μειωθεί περαιτέρω το ενεργειακό πεδίο, καθένας από αυτούς τους τομείς μπορεί να διαιρεθεί επίσης, οδηγώντας σε μικρότερους παράλληλους τομείς με μαγνήτιση σε εναλλασσόμενες κατευθύνσεις, με μικρότερες ποσότητες πεδίου εκτός του υλικού.



Η δομή τομέα πραγματικών μαγνητικών υλικών συνήθως δεν σχηματίζεται από τη διαδικασία των μεγάλων διαχωρισμένων τομέων σε μικρότερους, όπως περιγράφεται εδώ. Όταν ένα δείγμα ψύχεται κάτω από τη θερμοκρασία Curie, για παράδειγμα, η διαμόρφωση του χώρου ισορροπίας φαίνεται απλά. Αλλά η περιγραφή των περιοχών διάσπασης χρησιμοποιείται συχνά για να αποκαλύψει τις ανταλλαγές ενέργειας στη διαμόρφωση της περιοχής.

#### **4.4.2 Κορεσμός Μαγνήτισης ( Saturation Magnetization )**

Βλέποντας ορισμένα μαγνητικά υλικά, κορεσμός είναι η κατάσταση που επέρχεται όταν μια αύξηση του εφαρμοσμένου εξωτερικού μαγνητικού πεδίου (  $H$  ) δεν μπορεί να αυξήσει την μαγνήτιση του υλικού περαιτέρω, έτσι ώστε η συνολική πυκνότητα μαγνητικής ροής (  $B$  ) να σταθεροποιηθεί. Είναι ένα χαρακτηριστικό ιδιαίτερα των σιδηρομαγνητικών υλικών, όπως σίδηρος, νικέλιο, κοβάλτιο και τα κράματά τους. Ο κορεσμός φαίνεται πιο καθαρά στην καμπύλη μαγνήτισης (ονομάζεται επίσης καμπύλη  $BH$  ή καμπύλη υστερήσεως) μίας ουσίας, όπως μια κάμψη προς τα δεξιά της καμπύλης. Καθώς αυξάνεται το πεδίο  $H$ , το πεδίο  $B$  προσεγγίζει μία μέγιστη τιμή ασυμπτωτικά, το επίπεδο κορεσμού ουσιαστικά. Τεχνικά, πάνω από τον κορεσμό, το πεδίο  $B$  συνεχίζει να αυξάνεται αλλά στον παραμαγνητικό συντελεστή (  $\mu$  ), ο οποίος είναι 3 τάξεις μεγέθους μικρότερος από το σιδηρομαγνητικό συντελεστή φαίνεται κάτω από τον κορεσμό.



**Σχήμα 4.4**

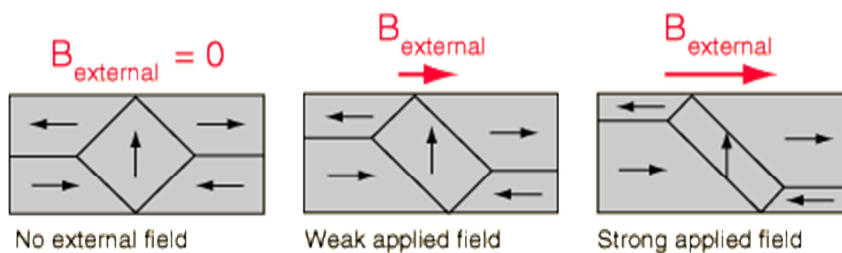
Καμπύλες μαγνήτισης 9 σιδηρομαγνητικών υλικών που δείχνουν τον κορεσμό. 1. Sheet steel, 2. Silicon steel, 3. Cast steel, 4. Tungsten steel, 5. Magnet steel, 6. Cast iron, 7. Nickel, 8. Cobalt, 9. Magnetite

Η σχέση μεταξύ της μαγνήτισης πεδίου  $H$  και του μαγνητικού πεδίου  $B$  μπορεί επίσης να εκφρασθεί ως μαγνητική διαπερατότητα:  $\mu = B / H$  ή σχετική διαπερατότητα  $\mu_r = \mu / \mu_0$ , όπου  $\mu_0$  είναι η διαπερατότητα κενού. Η διαπερατότητα των σιδηρομαγνητικών υλικών δεν είναι σταθερή, αλλά εξαρτάται από το  $H$ . Σε κορεσμένα υλικά η σχετική διαπερατότητα αυξάνεται με το  $H$  σε ένα μέγιστο, τότε καθώς πλησιάζει ο κορεσμός, αναστρέφεται και μειώνεται προς ένα.

Διαφορετικά υλικά έχουν διαφορετικά επίπεδα κορεσμού. Για παράδειγμα, υψηλής διαπερατότητας κράματα σιδήρου που χρησιμοποιούνται στους μετασχηματιστές φτάνουν στο μαγνητικό κορεσμό στα 1.6 έως 2.2 tesla, οι φερρίτες φτάνουν στον κορεσμό στα 0,2 έως 0,5T ενώ μερικά άμορφα κράματα στα 1,2-1,3T.

### 4.4.3 Μαγνητική ανισοτροπία

Η Μαγνητική ανισοτροπία είναι η κατευθυντική εξάρτηση των μαγνητικών ιδιοτήτων ενός υλικού. Με την απουσία ενός εφαρμοσμένου μαγνητικού πεδίου, ένα μαγνητικά ισότροπο υλικό δεν έχει συγκεκριμένη κατεύθυνση για την μαγνητική ροπή του, ενώ ένα μαγνητικό ανισότροπο υλικό θα ευθυγραμμίσει τη στιγμή της με έναν από τους εύκολους άξονες. Ένας εύκολος άξονας είναι μία ενεργητικώς ευνοϊκή κατεύθυνση της αυθόρμητης μαγνήτισης που καθορίζεται από τις πηγές μαγνητικής ανισοτροπίας που αναφέρονται παρακάτω. Οι δύο αντίθετες κατευθύνσεις κατά μήκος ενός εύκολου άξονα είναι συνήθως ισοδύναμες και η πραγματική κατεύθυνση της μαγνήτισης μπορεί να είναι κατά μήκος τους. Η Μαγνητική ανισοτροπία αποτελεί προϋπόθεση για την υστέρηση στα σιδηρομαγνητικά : Χωρίς αυτή, ένας σιδηρομαγνήτης είναι υπερπαραμαγνητικός.



**Σχήμα 4.5**

*Η επίδραση των εξωτερικών μαγνητικών πεδίων είναι για να προκαλέσει τα όρια τομέα να μετατοπιστούν υπέρ των τομέων που είναι παράλληλοι προς το εφαρμοζόμενο πεδίο.*

*( Πηγή : Ferromagnetism, hyperphysics.phy-astr.gsu.edu )*

#### 4.4.4 Single - domain magnet

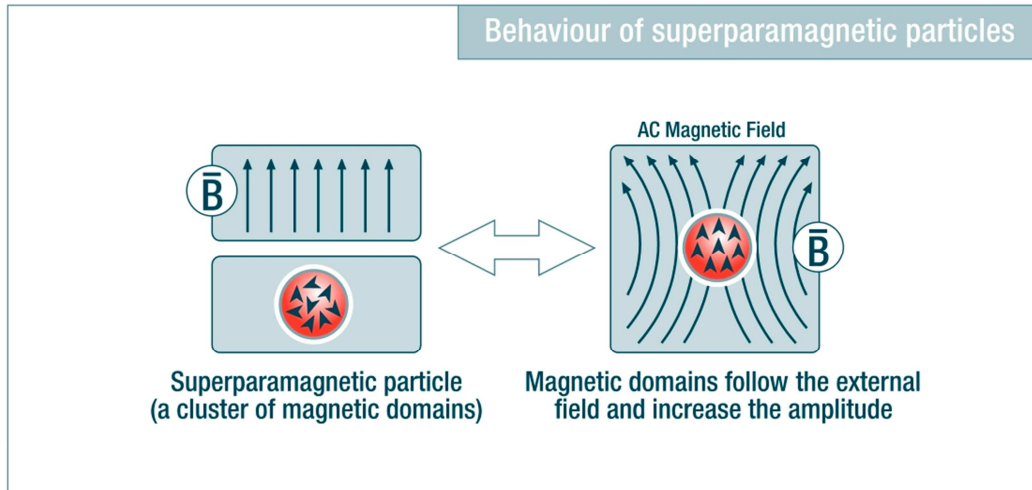
Ο μονός τομέας ( Single domain ), στο μαγνητισμό, αναφέρεται στην κατάσταση ενός σιδηρομαγνήτη στον οποίο η μαγνήτιση δεν αλλάζει με το μαγνήτη. Ένα μαγνητικό σωματίδιο που βρίσκεται σε ένα ενιαίο χώρο κατάστασης για όλα τα μαγνητικά πεδία ονομάζεται μονό σωματίδιο τομέα ( single domain particle ). Τέτοια σωματίδια είναι πολύ μικρά (συνήθως κάτω από ένα μικρόμετρο σε διάμετρο). Επίσης, είναι πολύ σημαντικά σε πολλές εφαρμογές επειδή έχουν υψηλό συνεκτικό πεδίο (coercivity). Αποτελούν την κύρια πηγή σκληρότητας στους σκληρούς μαγνήτες, είναι οι φορείς της μαγνητικής μνήμης και οι καλύτεροι καταγραφείς του μαγνητικού πεδίου της αρχαίας Γης.

Οι πρώτοι ερευνητές επεσήμαναν ότι ένα σωματίδιο single-domain θα μπορούσε να οριστεί με περισσότερους από έναν τρόπο. Ίσως συχνότερα, ορίζεται εμμέσως ως ένα σωματίδιο που είναι σε μια κατάσταση single-domain καθ 'όλη τη διάρκεια του κύκλου υστέρησης, συμπεριλαμβανομένης της διάρκειας μετάβασης μεταξύ δύο τέτοιων καταστάσεων. Αυτό είναι το είδος των σωματιδίων που διαμορφώνεται από το μοντέλο Stoner-Wohlfarth. Ωστόσο, θα μπορούσε να είναι σε μια κατάσταση single-domain, εκτός κατά τη διάρκεια της αντιστροφής. Συχνά, τα σωματίδια θεωρούνται single-domain αν η κορεσμού παραμένουσα μαγνήτισή τους είναι σύμφωνη με τη single-domain κατάσταση. Πιο πρόσφατα έγινε αντιληπτό ότι η κατάσταση ενός σωματιδίου μπορεί να είναι single-domain για κάποιο φάσμα των

μαγνητικών πεδίων και στη συνέχεια αλλάζουν συνεχώς σε μια μη ομοιόμορφη κατάσταση.

#### **4.4.5 Υπερπαραμαγνητισμός ( Superparamagnetism )**

Ο Υπερπαραμαγνητισμός είναι μια μορφή του μαγνητισμού, η οποία εμφανίζεται σε μικρά σιδηρομαγνητικά νανοσωματίδια. Σε επαρκώς μικρά νανοσωματίδια, η μαγνήτιση μπορεί τυχαία να αλλάξει κατεύθυνση υπό την επίδραση της θερμοκρασίας. Ο τυπικός χρόνος μεταξύ δύο αναστροφών ονομάζεται χρόνος χαλάρωσης Néel. Σε περίπτωση απουσίας εξωτερικού μαγνητικού πεδίου, όταν ο χρόνος που χρησιμοποιείται για να μετρηθεί η μαγνήτιση των νανοσωματιδίων είναι πολύ μεγαλύτερος από το χρόνο χαλάρωσης Néel, η μαγνήτισή τους φαίνεται να είναι κατά μέσο όρο μηδέν: λέγεται ότι είναι στην υπερπαραμαγνητική κατάσταση. Σε αυτή την κατάσταση, ένα εξωτερικό μαγνητικό πεδίο είναι σε θέση να μαγνητίζει τα νανοσωματίδια, παρόμοια με ένα παραμαγνήτη. Ωστόσο, η μαγνητική επιδεκτικότητά τους είναι πολύ μεγαλύτερη από εκείνη των παραμαγνητών.



**Σχήμα 4.6**

Συμπεριφορά των υπερπαραμαγνητικών νανοσφαιρών στα μαγνητικά πεδία. Οι κρύσταλλοι φερρίτη ευθυγραμμίζονται με το μαγνητικό πεδίο, σε τοπικό επίπεδο αυξάνοντας το πλάτος του πεδίου. Ούτε υστέρηση ούτε υπολειμματική μαγνήτιση παρατηρείται. ( Πηγή : *Magnasence Technology for Diagnostics at Point of Care magnasence.com* )

## 4.5 Αποθήκευση δεδομένων ( Data Storage )

### 4.5.1 Εισαγωγή

Η αποθήκευση δεδομένων μπορεί να αναφέρεται:

- ✚ Στην αποθήκευση δεδομένων υπολογιστή (*computer data storage*) δηλαδή στη μνήμη, στα εξαρτήματα, στις συσκευές και τα μέσα που διατηρούν τα ψηφιακά δεδομένα του υπολογιστή που χρησιμοποιούνται για τον υπολογισμό για κάποιο χρονικό διάστημα.

- ✚ Σε κάθε συσκευή αποθήκευσης δεδομένων ( *data storage device* ) δηλαδή ότι καταγράφει (αποθηκεύει) ή ανακτά (διαβάζει) πληροφορίες (δεδομένα) από οποιοδήποτε μέσο, συμπεριλαμβανομένου και του ίδιου του μέσου.

#### **4.5.2 Αποθήκευση δεδομένων υπολογιστή ( Computer Data Storage )**

Η αποθήκευση ηλεκτρονικών δεδομένων, που συχνά αποκαλείται αποθήκευση ή μνήμη, είναι μια τεχνολογία που αποτελείται από εξαρτήματα υπολογιστών και μέσα εγγραφής που χρησιμοποιούνται για να διατηρούν τα ψηφιακά δεδομένα. Είναι μια βασική λειτουργία και θεμελιώδες συστατικό των ηλεκτρονικών υπολογιστών. Η κεντρική μονάδα επεξεργασίας (CPU) ενός υπολογιστή είναι αυτό που χειρίζεται τα δεδομένα εκτελώντας υπολογισμούς. Στην πράξη, σχεδόν όλοι οι υπολογιστές χρησιμοποιούν μια ιεραρχία αποθήκευσης, η οποία βάζει γρήγορες αλλά δαπανηρές και μικρές δυνατότητες αποθήκευσης κοντά στο CPU και πιο αργές αλλά μεγαλύτερες και φθηνότερες επιλογές πιο μακριά. Συχνά οι γρήγορες, πτητικές τεχνολογίες (που χάνουν τα δεδομένα όταν απενεργοποιηθούν) αναφέρονται ως "μνήμη", ενώ οι πιο αργές μόνιμες τεχνολογίες που αναφέρονται ως "αποθήκευση" αλλά αυτοί οι όροι μπορούν επίσης να χρησιμοποιηθούν εναλλακτικά. Στην αρχιτεκτονική Von Neumann, η CPU αποτελείται από δύο κύρια μέρη: από τη μονάδα ελέγχου και την αριθμητική λογική μονάδα (ALU).

Η πρώτη ελέγχει τη ροή δεδομένων μεταξύ της CPU και της μνήμης ενώ η δεύτερη εκτελεί αριθμητικές και λογικές πράξεις σε δεδομένα.

### 4.5.3 Οργάνωση δεδομένων και παρουσίαση

Ένας σύγχρονος ψηφιακός υπολογιστής αντιπροσωπεύει τα δεδομένα, χρησιμοποιώντας το δυαδικό σύστημα αρίθμησης. Ένα κείμενο, οι αριθμοί, οι εικόνες, ο ήχος και σχεδόν οποιαδήποτε άλλη μορφή πληροφοριών μπορεί να μετατραπεί σε μία στοιχειοσειρά δυαδικών ψηφίων (string of bits), ή δυαδικά ψηφία(binary digits), καθένα από τα οποία έχει μία τιμή 1 ή 0. Η πιο κοινή μονάδα αποθήκευσης είναι το byte, ίσο με 8 δυαδικά ψηφία. Ένα κομμάτι των πληροφοριών μπορεί να γίνεται από οποιοδήποτε υπολογιστή ή συσκευή όπου ο αποθηκευτικός χώρος είναι αρκετά μεγάλος για να φιλοξενήσει τη δυαδική αναπαράσταση του κομματιού των πληροφοριών, ή απλά δεδομένα. Για παράδειγμα, τα Άπαντα του Σαίξπηρ, περίπου 1250 σελίδες σε έντυπη μορφή, μπορούν να αποθηκευτούν σε περίπου πέντε megabytes (40 εκατομμύρια bits) με ένα byte ανά χαρακτήρα.

Τα δεδομένα κωδικοποιούνται με την ανάθεση ενός bit για κάθε χαρακτήρα, ψηφίο ή αντικείμενο multimedia. Υπάρχουν πολλά πρότυπα για την κωδικοποίηση (π.χ. κωδικοποιήσεις χαρακτήρων όπως ASCII, κωδικοποιήσεις εικόνες, όπως JPEG, κωδικοποιήσεις βίντεο, όπως MPEG-4). Με την προσθήκη bit για κάθε κωδικοποιημένη μονάδα, ο πλεονασμός επιτρέπει στον υπολογιστή τον εντοπισμό σφαλμάτων σε κωδικοποιημένα δεδομένα και τη διόρθωσή τους που στηρίζεται σε μαθηματικούς αλγορίθμους. Λάθη συμβαίνουν τακτικά σε μικρές



πιθανότητες που οφείλονται στην τυχαία αναστροφή τιμής bit (bit value flipping), ή “σωματικής κόπωσης bit”(physical bit fatigue), η απώλεια του φυσικού bit αποθηκεύει την ικανότητά της να διατηρήσει διακριτή τιμή (0 ή 1), ή οφείλονται σε σφάλματα στην μεταξύ ή ενδο-υπολογιστή επικοινωνία (inter or intra-computer communication). Μια τυχαία αναστροφή bit (π.χ. που οφείλεται στην τυχαία ακτινοβολία) διορθώνεται συνήθως μετά την ανίχνευση. Ένα bit, ή μια ομάδα φυσικών δυσλειτουργικών bits ( δεν είναι πάντα το συγκεκριμένο ελαττωματικό κομμάτι γνωστό, ο ορισμός της ομάδας εξαρτάται από τη συγκεκριμένη συσκευή αποθήκευσης ) είναι συνήθως αυτόματα περιφραγμένο ( fenced-out ), λαμβάνεται από τη χρήση της συσκευής και αντικαθίσταται με ένα άλλο που λειτουργεί σε ισοδύναμη ομάδα στη συσκευή, όπου οι διορθωμένες τιμές bit αποκαθίσταται ( αν είναι δυνατόν ). Η κυκλική μέθοδος ελέγχου πλεονασμού ( CRC ) χρησιμοποιείται συνήθως στην αποθήκευση για την ανίχνευση και διόρθωση σφαλμάτων.

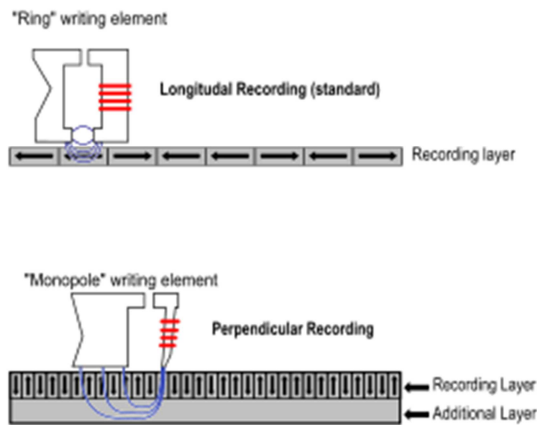
Η μέθοδος συμπίεσης δεδομένων επιτρέπει, σε πολλές περιπτώσεις, να αντιπροσωπεύει μια σειρά από bits από μια μικρότερη σειρά δυαδικών ψηφίων (“συμπίεση”) και να ανακατασκευάσει την αρχική σειρά (“αποσυμπίεση”), όταν χρειάζεται. Αυτό χρησιμοποιεί σημαντικά λιγότερη αποθήκευση ( δεκάδες ποσοστών ) για πολλούς τύπους δεδομένων στο κόστος περισσότερου υπολογισμού ( συμπίεση και αποσυμπίεση όταν χρειάζεται ). Ανάλυση της ανταλλαγής μεταξύ της εξοικονόμησης κόστους αποθήκευσης και του κόστους των σχετικών υπολογισμών και οι πιθανές καθυστερήσεις στη διαθεσιμότητα των στοιχείων γίνεται πριν αποφασίσει αν θα κρατήσει ορισμένα δεδομένα σε μια βάση δεδομένων συμπιεσμένα ή όχι.

Για λόγους ασφαλείας ορισμένοι τύποι δεδομένων ( π.χ., τα στοιχεία της πιστωτικής κάρτας ) μπορούν να διατηρούνται κρυπτογραφημένα κατά την αποθήκευση για να αποκλείεται η παράνομη ανακατασκευή πληροφοριών.

#### **4.5.4 Μαγνητική αποθήκευση δεδομένων**

Η *Μαγνητική αποθήκευση* (ή μαγνητική εγγραφή) είναι η αποθήκευση των δεδομένων σε ένα μαγνητισμένο μέσο. Η Μαγνητική αποθήκευση χρησιμοποιεί διαφορετικά πρότυπα μαγνητισμού σε ένα μαγνητίσιμο υλικό για την αποθήκευση δεδομένων και είναι μια μορφή μη πτητικής μνήμης. Οι πληροφορίες είναι προσβάσιμες χρησιμοποιώντας μία ή περισσότερες κεφαλές ανάγνωσης / εγγραφής.

Από το 2013, τα μαγνητικά μέσα αποθήκευσης, κυρίως οι σκληροί δίσκοι, χρησιμοποιούνται ευρέως για την αποθήκευση των δεδομένων του υπολογιστή καθώς και τα σήματα ήχου και βίντεο. Στον τομέα της πληροφορικής, ο όρος μαγνητικής αποθήκευσης προτιμάται και στο πεδίο της παραγωγής ήχου και βίντεο, ο όρος μαγνητικής εγγραφής χρησιμοποιείται συχνότερα. Η διάκριση είναι λιγότερο τεχνική και περισσότερο θέμα προτίμησης. Άλλα παραδείγματα των μαγνητικών μέσων αποθήκευσης περιλαμβάνουν δισκέτες, μαγνητική ταινία εγγραφής, και μαγνητικές λωρίδες σε πιστωτικές κάρτες.



**Σχήμα 4.7**

Διαμήκης καταγραφή και κάθετη εγγραφή, δύο είδη κεφαλών γραφής σε ένα σκληρό δίσκο. ( Πηγή : File: Perpendicular Recording Diagram.svg, Wikipedia The Free Encyclopedia )

#### 4.5.5 Σκληρός δίσκος ( Hard Disk Drive )

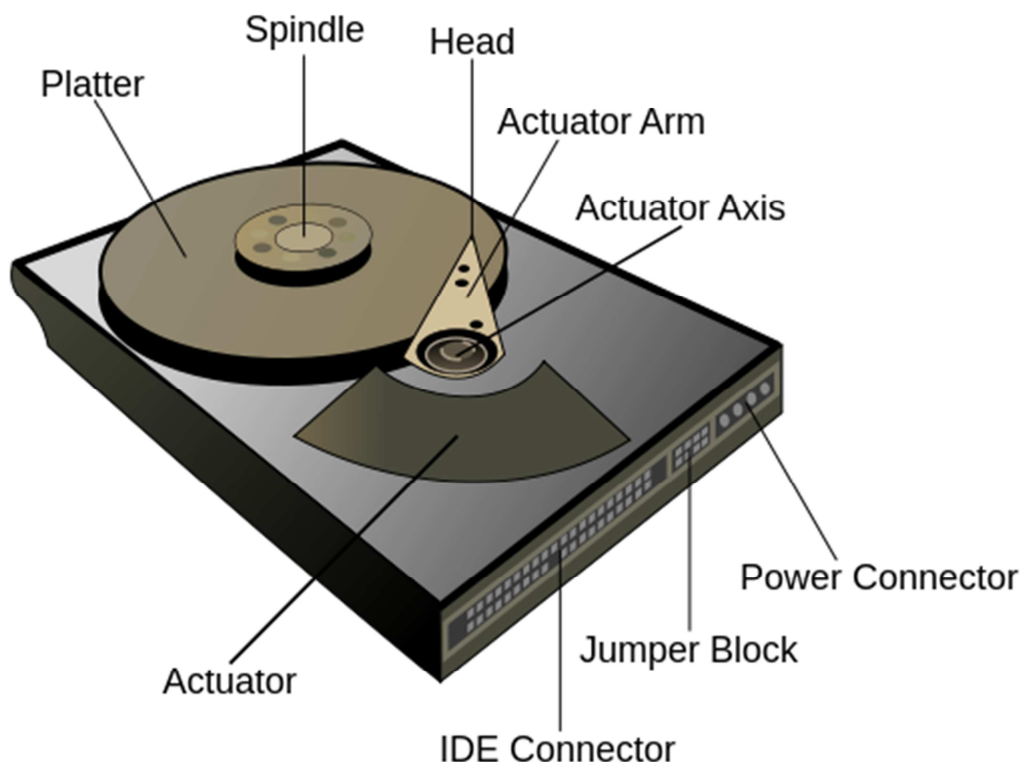
Η μονάδα σκληρού δίσκου (HDD) είναι μια συσκευή αποθήκευσης δεδομένων που χρησιμοποιείται για την αποθήκευση και την ανάκτηση ψηφιακών πληροφοριών χρησιμοποιώντας γρήγορους περιστρεφόμενους δίσκους (platters) επικαλυμμένους με μαγνητικό υλικό. Ένας σκληρός δίσκος διατηρεί τα δεδομένα του ακόμα και όταν απενεργοποιηθεί. Τα δεδομένα διαβάζονται με ένα τρόπο τυχαίας προσπέλασης, που σημαίνει μεμονωμένα μπλοκ δεδομένων μπορούν να αποθηκευτούν ή να ανακτηθούν με οποιαδήποτε σειρά και όχι διαδοχικά. Ένας HDD αποτελείται από έναν ή περισσότερους άκαμπτους ("σκληρούς") ταχέως περιστρεφόμενους δίσκους (platters) με μαγνητικές κεφαλές τοποθετημένες σε ένα κινούμενο βραχίονα ώστε να διαβάζουν και να γράφουν δεδομένα στις επιφάνειες.

Ο σκληρός δίσκος, ο οποίος δημιουργήθηκε από την IBM το 1956, έγινε η κυρίαρχη δευτερεύουσα συσκευή αποθήκευσης για ηλεκτρονικούς υπολογιστές γενικής χρήσης από τις αρχές του 1960. Βελτιώνεται συνεχώς ενώ οι σκληροί δίσκοι έχουν διατηρήσει αυτή τη θέση στη σύγχρονη εποχή των servers και προσωπικών υπολογιστών. Περισσότερες από 200 εταιρείες έχουν παράγει μονάδες σκληρού δίσκου, αν και οι περισσότερες τρέχουσες μονάδες έχουν κατασκευαστεί από την Seagate, Toshiba και τη Western Digital. Τα παγκόσμια έσοδα για αποστολές σκληρών δίσκων αναμένεται να φθάσουν τα 33 δισεκατομμύρια δολάρια το 2013, παρουσιάζοντας μείωση κατά περίπου 12% από 37.8 δισεκατομμύρια δολάρια το 2012. Τα βασικά χαρακτηριστικά ενός σκληρού δίσκου είναι η χωρητικότητα και η απόδοσή του. Η χωρητικότητα καθορίζεται σε unit prefixes που αντιστοιχούν σε δυνάμεις του 1000: 1-terabyte (TB) δίσκος έχει χωρητικότητα 1.000 gigabytes (GB) όπου 1 gigabyte = 1 δις bytes. Τυπικά, μερικές από τις ιδιότητες των σκληρών δίσκων δεν είναι διαθέσιμες προς το χρήστη, επειδή χρησιμοποιούνται από το σύστημα αρχείων και το λειτουργικό σύστημα του υπολογιστή και ενδεχομένως για τη διόρθωση σφαλμάτων και την ανάκτηση. Η απόδοση καθορίζεται από τον χρόνο που απαιτείται για να μετακινηθούν οι κεφαλές σε ένα αρχείο (μέσος χρόνος πρόσβασης), το χρόνο που χρειάζεται για το αρχείο για να κινηθεί κάτω από την κεφαλή του (ο μέσος χρόνος καθυστέρησης, συνάρτηση της φυσικής ταχύτητας περιστροφής σε στροφές ανά λεπτό) και την ταχύτητα κατά την οποία μεταδίδεται το αρχείο (ρυθμός μεταφοράς δεδομένων).

Οι δύο πιο κοινές μορφές για τις σύγχρονες μονάδες σκληρού δίσκου είναι των 3,5 ιντσών για τους επιτραπέζιους υπολογιστές και 2,5-ιντσών

για τους φορητούς υπολογιστές. Οι σκληροί δίσκοι συνδέονται με τα συστήματα με τυποποιημένα καλώδια διασύνδεσης, όπως SATA (Serial ATA), USB ή SAS (Serial Attached SCSI) καλώδια.

Από το 2012, η κύρια ανταγωνιστική τεχνολογία για τη δευτεροβάθμια αποθήκευση είναι η μνήμη flash, με τη μορφή των solid-state drives (SSDs). Οι σκληροί δίσκοι αναμένεται να παραμείνουν το κυρίαρχο μέσο για δευτερεύουσα αποθήκευση λόγω προβλεπόμενων συνεχιζόμενων πλεονεκτημάτων στην ικανότητα καταγραφής και την τιμή ανά μονάδα αποθήκευσης αλλά οι SSDs αντικαθιστούν τους σκληρούς δίσκους, όπου η ταχύτητα, η κατανάλωση ενέργειας και η αντοχή είναι πιο σημαντικά ζητήματα από την τιμή και την ικανότητα.



**Σχήμα 4.8**

*Διάγραμμα επισήμανσης των κύριων συστατικών ενός υπολογιστή*

( Πηγή : *Hard drive-en.svg, Wikipedia The Free Encyclopedia* )

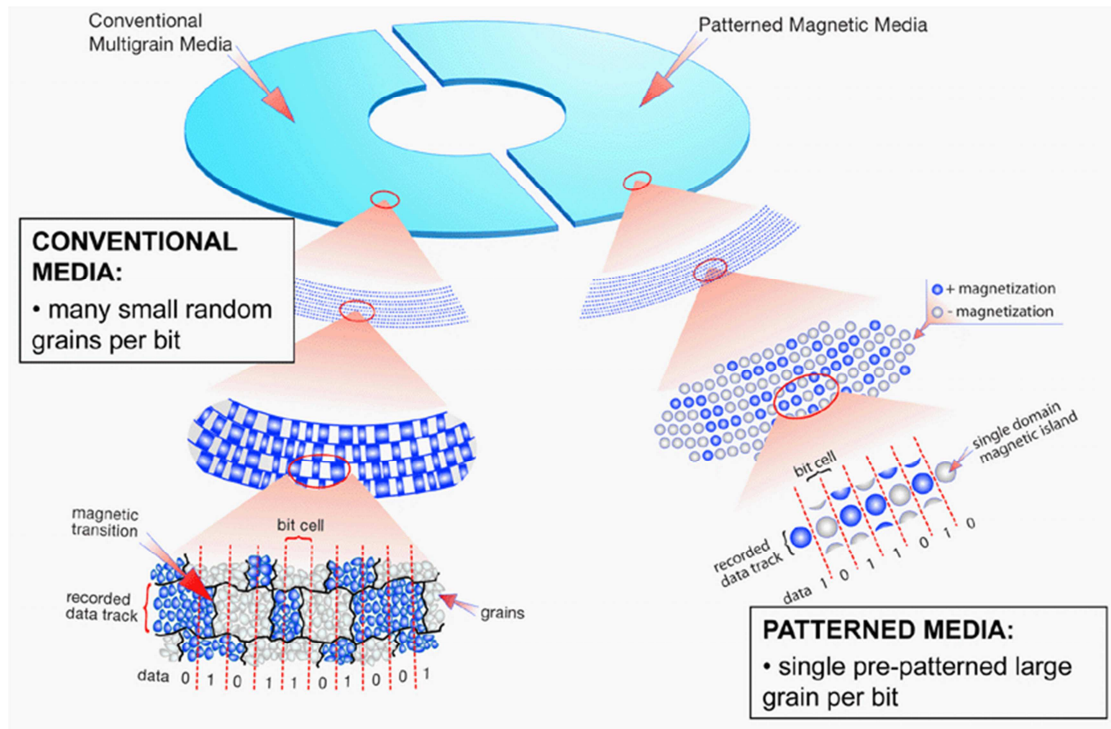
#### **4.5.6 Bit Patterned Media ( Μοτίβο μέσω bit )**

Το Μοτίβο μέσω είναι μια πιθανή μελλοντική τεχνολογία μονάδας σκληρού δίσκου για την εγγραφή δεδομένων σε μαγνητικές νησίδες (magnetic islands) (ένα bit ανά νησί) σε αντίθεση με την τρέχουσα τεχνολογία μονάδας σκληρού δίσκου όπου κάθε bit αποθηκεύεται σε 20-30 μαγνητικά ρινίσματα μέσα σε μια συνεχή μαγνητική ταινία. Οι νησίδες θα είναι διαμορφωμένες από μία πρόδρομη μαγνητική ταινία, χρησιμοποιώντας νανολιθογραφία. Είναι μία από τις προτεινόμενες τεχνολογίες για να πετύχει η κάθετη εγγραφή, λόγω της αυξημένης πυκνότητας αποθήκευσης που ενεργοποιεί.

#### **4.5.7 Σύγκριση με την υπάρχουσα τεχνολογία HDD**

Στις υπάρχουσες μονάδες σκληρού δίσκου, τα δεδομένα είναι αποθηκευμένα σε μια λεπτή μαγνητική ταινία. Αυτή η ταινία εναποτίθεται έτσι ώστε να αποτελείται από απομονωμένους κόκκους του υλικού περίπου 8 nm διάμετρο. Ένα κομμάτι των δεδομένων αποτελείται από περίπου 20-30 κόκκους που είναι μαγνητισμένοι στην ίδια κατεύθυνση (είτε «πάνω» ή «κάτω» σε σχέση με το επίπεδο του δίσκου). Μία μέθοδος για την αύξηση της πυκνότητας αποθήκευσης ήταν να μειωθεί ο μέσος όγκος των κόκκων. Ωστόσο, η ενέργεια

φραγμού για θερμική μεταγωγή είναι ανάλογη προς τον όγκο των κόκκων. Με τα υπάρχοντα υλικά, η περαιτέρω μείωση του όγκου των κόκκων θα οδηγήσει σε απώλεια δεδομένων που συμβαίνουν αυθόρμητα λόγω υπερπαραμαγνητισμού. Στο Μοτίβο μέσων, η λεπτή μαγνητική ταινία πρώτα εναποτίθεται έτσι ώστε να υπάρχει ισχυρή σύζευξη ανταλλαγής μεταξύ των κόκκων. Χρησιμοποιώντας νανολιθογραφία τότε διαμορφώνονται σε μαγνητικές νησίδες. Η ισχυρή σύζευξη ανταλλαγής σημαίνει ότι η ενέργεια φραγμού είναι πλέον ανάλογη με τον όγκο της νησίδας, παρά τον όγκο των μεμονωμένων κόκκων μέσα στη νησίδα. Ως εκ τούτου, η αύξηση της πυκνότητας αποθήκευσης μπορεί να επιτευχθεί με σχηματοποίηση νησίδων ολοένα μικρότερης διαμέτρου, διατηρώντας παράλληλα θερμική σταθερότητα. Το Μοτίβο μέσων αναμένεται να επιτρέψει τοπικές πυκνότητες μέχρι  $20-300 \text{ Tb/in}^2$  σε αντίθεση με το  $1 \text{ Tb/in}^2$  όριο που υπάρχει με την τρέχουσα τεχνολογία HDD.



**Σχήμα 4.9**

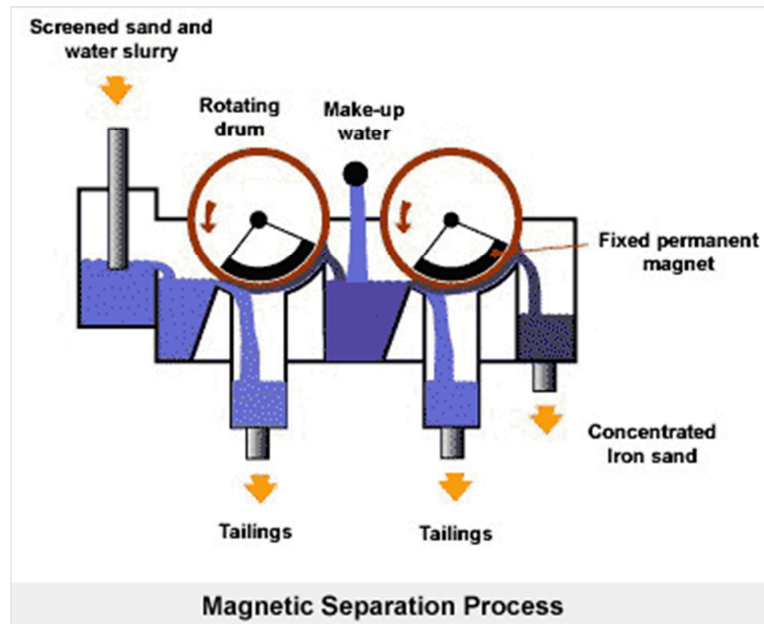
Το αριστερό τμήμα δείχνει το συμβατικό μέσο *multigrain*, ενώ το δεξί τμήμα δείχνει το μοτίβο μέσων και την ομοιόμορφη διάταξη των μαγνητικών νησιών. ( Πηγή : “*Patterned Media : Nanofabrication Challenges of Future Disk Drives*”, November 2008, [ieeexplore.ieee.org](http://ieeexplore.ieee.org) )

## 4.6 Μαγνητικός διαχωρισμός

Ο Μαγνητικός διαχωρισμός είναι μια διαδικασία στην οποία μαγνητικώς ευαίσθητο υλικό εκχυλίζεται από ένα μίγμα, χρησιμοποιώντας μια μαγνητική δύναμη. Αυτή η τεχνική διαχωρισμού



μπορεί να είναι χρήσιμη στην εξόρυξη σιδήρου καθώς έλκεται από ένα μαγνήτη. Στα ορυχεία όπου βολφραμίτης αναμίχθηκε με κασίτερο, όπως στα ορυχεία South Crofty και East Pool στην Κορνουάλη ή με βισμούθιο, όπως στα ορυχεία Shepherd και Murphy στην Moina, Τασμανία, χρησιμοποιήθηκε μαγνητικός διαχωρισμός για το διαχωρισμό των μεταλλευμάτων. Σε αυτά τα ορυχεία χρησιμοποιήθηκε μια συσκευή που ονομάζεται Μαγνητικός Διαχωριστής του Wetherill ( που εφευρέθηκε από τον John Price Wetherill, 1844-1906 ). Σε αυτό το μηχάνημα το ακατέργαστο μέταλλευμα, μετά από πύρωση τροφοδοτήθηκε επί ενός κινούμενου ιμάντα που πέρασε κάτω από δύο ζεύγη ηλεκτρομαγνητών κάτω από τους οποίους περαιτέρω ιμάντες έτρεξαν σε ορθές γωνίες προς τον ιμάντα τροφοδοσίας. Το πρώτο ζευγάρι των ηλεκτρομαγνητών ασθενώς μαγνητισμένα χρησίμευσε για την αναρρόφηση κάθε παρόντος σιδηρομεταλλεύματος. Το δεύτερο ζευγάρι ήταν έντονα μαγνητισμένο και προσέλκυσε το βολφραμίτη, ο οποίος είναι ασθενώς μαγνητικός. Αυτές οι μηχανές ήταν ικανές να κατεργαστούν 10 τόνους μεταλλεύματος την ημέρα. Αυτή η διαδικασία του διαχωρισμού των μαγνητικών ουσιών από τις μη μαγνητικές ουσίες σε ένα μείγμα με τη βοήθεια ενός μαγνήτη ονομάζεται *μαγνητικός διαχωρισμός*. Επίσης χρησιμοποιούνται σε ηλεκτρομαγνητικούς γερανούς που χωρίζουν το μαγνητικό υλικό από τα απορρίματα.



**Σχήμα 4.10**

*Διαδικασία Μαγνητικού Διαχωρισμού*

( Πηγή : [www.indiantradelinks.com](http://www.indiantradelinks.com) )

## 4.7 Ροφητής ( Sorbent )

Ένας ροφητής είναι ένα υλικό που χρησιμοποιείται για να απορροφούνται ή προσροφούνται υγρά ή αέρια. Παραδείγματα περιλαμβάνουν:

- Ένα υλικό παρόμοιο με το υλικό μοριακού κόσκινου, το οποίο δρα με προσρόφηση (προσέλκυση μορίων στην επιφάνειά του). Διαθέτει μια μεγάλη εσωτερική επιφάνεια και καλή θερμική αγωγιμότητα. Τυπικά παρέχεται σε σφαιρίδια διαμέτρου από 1 mm έως 2 mm και περίπου 5 χιλιοστών μήκους ή ως κόκκοι του 1 χιλιοστού. Μερικές φορές ως χάντρες διαμέτρου έως 5 mm. Είναι

συνήθως κατασκευασμένα από οξείδιο του αργιλίου με μια πορώδη δομή.

- Τα υλικά που χρησιμοποιούνται για να απορροφήσουν άλλα υλικά, λόγω της υψηλής συγγένειας τους να το πράξουν.

Παραδείγματα περιλαμβάνουν:

- ✓ Στην κομποστοποίηση, ξηρά (καφέ, υψηλής περιεκτικότητας σε άνθρακα) υλικά απορροφούν πολλές ευώδεις χημικές ουσίες, και αυτές οι χημικές ουσίες βοηθούν να αποσυντεθούν αυτά τα προσροφητικά.
- ✓ Ένα σφουγγάρι απορροφά πολλές φορές το βάρος του σε νερό.
- ✓ Ένα στρώμα από ίνες πολυπροπυλενίου μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να απορροφήσει το πετρέλαιο.
- ✓ Ένα προϊόν ινών κυτταρίνης μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να απορροφήσει το πετρέλαιο.
- ✓ Το κοκκώδες gel υλικό σε μία πάνα μωρού θα απορροφήσει αρκετές φορές το αρχικό του βάρος στα ούρα.
- ✓ Το Πολυδιμεθυλοσιλοξάνιο polyhydrate (PMSPF) είναι ένα ζελέ-όπως μια πολυμερής ένωση οργανοσιλικόνης. Το PMSPG είναι ένα προσροφητικό σχεδιασμένο για σύνδεση τοξικών ουσιών διαφορετικής φύσης, παθογόνων και μεταβολιτών στο γαστρεντερικό σωλήνα και την απέκκρισή τους.



**Σχήμα 4.11**

Διατομή μιας μάσκας αερίων με απορροφητικό ορατό υλικό  
 ( Πηγή : *Cross section of filter of gas mask.jpg*, *Wikipedia The Free Encyclopedia* )

#### **4.8 Η “ Σύνθεση Κουζίνας ” των νανοσωματιδίων**

Η παροχή καθαρού πόσιμου νερού είναι μια από τις πιο θεμελιώδεις ανάγκες της ζωής. Υπάρχουν πολλές διαφορετικές μορφές της πιθανής μόλυνσης, αλλά ένας από τους πιο καλούς μελετημένους και προβληματικούς ανόργανους ρυπαντές είναι το αρσενικό. Το Αρσενικό είναι ένα από τα παλαιότερα γνωστά καρκινογόνα. Το 1999, η Αμερικανική Εθνική Ακαδημία Επιστημών ανέφερε ότι το Αρσενικό μπορεί να προκαλέσει κύστες, καρκίνο του πνεύμονα και του δέρματος και πιθανόν να προκαλέσει καρκίνο στο ήπαρ και τους νεφρούς. Τα σωματικά συμπτώματα της δηλητηρίασης Αρσενικού περιλαμβάνουν: υπερβολική κόπωση, ναυτία, έμετο, μερική παράλυση και αναπαραγωγική βλάβη. Το Αρσενικό βρίσκεται φυσικά στο νερό λόγω

της αφθονίας σε ορισμένους τύπους πετρωμάτων αλλά μπορεί να έχει και ανθρωπογενή προέλευση.

Το Αρσενικό μπορεί να βρεθεί σε όλο τον κόσμο, αλλά προς το παρόν αποτελεί ιδιαίτερο πρόβλημα στις χώρες του Τρίτου Κόσμου, λόγω του δαπανηρού χαρακτήρα του καθαρισμού του νερού. Είναι ιδιαίτερα άφθονο στο Μπαγκλαντές αλλά το Αρσενικό έχει επίσης βρεθεί στα υπόγεια ύδατα της Αργεντινής, της Χιλής, της Ινδίας, του Μεξικό, της Ταϊβάν και της Ταϊλάνδης. Επιπλέον, τα περισσότερα κράτη στις δυτικές ΗΠΑ έχουν επίπεδα Αρσενικού συγκεντρώσεων άνω των 10 μερών ανά δισεκατομμύριο (10 ppb). Αυτό δεν ήταν αιτία ανησυχίας, μέχρι η Υπηρεσία Περιβαλλοντικής Προστασίας (Environmental Protection Agency, EPA ) το 2006 μείωσε το μέγιστο επιτρεπόμενο επίπεδο του Αρσενικού από 50 ppb στα 10 ppb. Το 2001, περίπου 13 εκατομμύρια Αμερικανοί έπιναν νερό που είχε αυξημένα επίπεδα Αρσενικού.

Οι προηγούμενες μέθοδοι για την απομάκρυνση του Αρσενικού είχαν συμπεριλάβει: στήλες greensand Μαγγανίου που είχαν προκατεργαστεί με αραιό οξύ, πήξη / μικροδιήθηση, οξειδίο του Σιδήρου που βασίζεται στη διήθηση και ενεργή αλουμίνα. Η “Arsenic Removal Using Bottom Ash” ή αλλιώς μέθοδος “ARUBA” που εφευρέθηκε από τον Ashok Gadgil του Εθνικού Εργαστηρίου Lawrence Berkeley, περιλαμβάνει την επίστρωση της επιφάνειας των προσμείξεων, με τέφρα πυθμένα και υδροξείδιο του τρισθενούς σιδήρου. Η τέφρα πυθμένα είναι αποστειρωμένο υλικό αποβλήτων από σταθμούς παραγωγής ενέργειας με καύση άνθρακα που θα έκανε το κόστος της αποκατάστασης περίπου 0,5 σεντ ανά χιλιόγραμμο ARUBA των οποίων γενικά 4-5 γραμμάρια ARUBA είναι απαραίτητα για 1 λίτρο νερό, αφού αρχικά περιέχει 400 ppb Αρσενικού.

Η Νανομαγνητική σύνθεση για την απομάκρυνση του Αρσενικού έχει χαρακτηριστεί από το Forbes ως: «Top 5 ανακαλύψεις Νανοτεχνολογίας του 2006» και στο Esquire αναφέρονται ως «Έξι ιδέες που θα αλλάξουν τον κόσμο» το 2007. Βασικά, η τεχνική αυτή συνεπάγεται τον σχηματισμό νανοκρυστάλλων οξειδίου του σιδήρου, που έχουν μοναδικά και εξαρτώμενα από το μέγεθος χαρακτηριστικά, για την περιβαλλοντική αποκατάσταση του μολυσμένου, από Αρσενικό, νερού.

#### 4.8.1 Επεξήγηση

Και οι δύο νανοκρύσταλλοι οξειδίου του σιδήρου,  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  (μαγνητίτης) και  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  (μαγεμίτης, δεδομένου ότι είναι ένας σταυρός μεταξύ μαγνητίτη και αιματίτη), είναι σιδηρομαγνητικά υλικά που σημαίνει ότι μπορούν να συμπεριφέρονται ως μόνιμοι μαγνήτες. Επιπλέον, τα εν λόγω οξείδια κάτω των 10 νανόμετρων σε διάμετρο, εμφανίζουν υπερπαραμαγνητικές ιδιότητες και χρησιμοποιούνται ως παράγοντες αντίθεσης MRI.

Ο Μαγνητίτης είναι το πιο μαγνητικό από όλα τα φυσικά μεταλλικά στοιχεία στη Γη και έχει δείξει μια πολλά υποσχόμενη αποκατάσταση του περιβάλλοντος, δεδομένου ότι απομακρύνει αποτελεσματικά τα As (III) και As (V) από το νερό, όπου αυτή η αποτελεσματικότητα αυξάνεται περίπου 200 φορές, όταν το μέγεθος των σωματιδίων μαγνητίτη μειώνεται από τα 300 στα 12 nm. Δεδομένου ότι το μολυσμένο, από Αρσενικό, πόσιμο νερό είναι ένα σημαντικό πρόβλημα σε ολόκληρο τον κόσμο, χρησιμοποιώντας μαγνητίτη ως ροφητή δείχνει μια μεγάλη υπόσχεση. Επιπροσθέτως, οι Fe (II) ενώσεις έχουν χρησιμοποιηθεί για

να οξειδώνουν οργανικές προσμείξεις όπως το τριχλωροαιθυλένιο (TCE), ενώ οι ανόργανες προσμείξεις, όπως το αρσενικό, ο μόλυβδος και το ουράνιο διαχωρίζονται από το διάλυμα. Μεταξύ 10 και 20 νανομετρων, οι ρύποι μπορούν να αφαιρεθούν από το νερό μέσω φορητών μαγνητών, το οποίο είναι ένα σημαντικό στοιχείο για τον καθαρισμό του νερού στον Τρίτο Κόσμο, όπου η ισχύς δεν είναι ένα τυποποιημένο προϊόν.

Με τη “ Σύνθεση Κουζίνας “, παράγονται νανοκρυσταλλικά και λειτουργικά οξείδια του σιδήρου μετά από μια πράσινη προσέγγιση, χρησιμοποιώντας αντικείμενα καθημερινής χρήσης και εξοπλισμό που υπάρχει στις κουζίνες σε όλο τον κόσμο. Τα νανοκρυσταλλικά και λειτουργικά οξείδια παράγονται με θερμική αποσύνθεση των προδρόμων σιδήρου προκειμένου να σχηματίσουν ιδιαίτερη ομοιομορφία, νανοκρυστάλλους που απομονώνονται και το μέγεθός τους συντονίζεται. Οι πρόδρομοι του σιδήρου αποσυντίθενται από οξείδια του σιδήρου σε οργανικούς διαλύτες (θερμικά σταθεροί μη-πολικοί διαλύτες, γνωστοί ως λιπαρά οξέα όπως το ελαϊκό οξύ), σε θερμοκρασίες άνω των 200°C, όπου η παρουσία των αμφιφίλων σταθεροποιητών, σε αυτή την περίπτωση τα λιπαρά οξέα που προέρχονται από το σαπούνι, περιορίζει την ανάπτυξη των κρυσταλλικών προϊόντων τα οποία είναι είτε μαγνητίτης, μαγεμίτης, ή μίγματα και των δύο φάσεων.

Το πλεονέκτημα αυτής της μεθόδου έγκειται στην ικανότητα να χρησιμοποιούν φθηνές πηγές σιδήρου, όπως σκουριά, για να σχηματιστεί καρβοξυλικός σίδηρος, που όταν κλιμακώνεται στο επίπεδο γραμμαρίου παράγει αποτελεσματικά μια μέθοδο σχετικά χαμηλού κόστους για την απομάκρυνση του αρσενικού από το μολυσμένο νερό.

Η σκουριά είναι ένα μίγμα υδροξειδίων του σιδήρου, οξείδια, και σε ορισμένες περιπτώσεις ακόμη και μηδενικού σθένους σιδήρου, αλλά είναι τόσο αποτελεσματική όσο το  $\text{FeOOH}$  που χρησιμοποιείται σε οποιαδήποτε εργαστηριακή μέθοδο. Το λιπαρό οξύ που χρησιμοποιείται σε συμβατικές μεθόδους είναι το ελαϊκό οξύ, ένας ακόρεστος άνθρακας λιπαρού οξέος. Μπορεί να αντικατασταθεί από πολλά μαγειρικά έλαια που μπορούν να υποβληθούν σε επεξεργασία για να δημιουργήσει ένα σπιτικό σαπούνι μέσω σαπωνοποίησης, με την προσθήκη μιας βάσης όπως αλυσίβα. Το σαπούνι αφήνεται να στερεοποιηθεί για λίγες ημέρες και στη συνέχεια διαλύεται σε ένα ασθενές οξύ, όπως το ξύδι. Η οργανική στοιβάδα του υγρού μπορεί να συλλεχθεί και να χρησιμοποιηθεί χωρίς περαιτέρω επεξεργασία. Το “ μίγμα λιπαρών οξέων ” ή FAM είναι ένα ακάθαυτο λιπαρό οξύ του οποίου η ακριβής σύνθεση εξαρτάται από το αρχικό εδώδιμο έλαιο. Το ελαιόλαδο περιέχει το περισσότερο ελαϊκό οξύ, ενώ τα έλαια καρύδας περιέχουν περισσότερο λινολενικό οξύ.

Στη “ σύνθεση κουζίνας ”, το μαύρο προϊόν που σχηματίζεται μπορεί να διαχωριστεί από το διάλυμα με την απλή χρήση ενός μαγνήτη χειρός και όχι τις ακριβές και μεγάλες συσκευές φυγοκέντρησης που χρησιμοποιούνται σε ένα συμβατικό εργαστήριο.



## 4.9 Η Μαγνητική τομογραφία ( MRI - Magnetic Resonance Imaging )

*Η απεικόνιση μαγνητικού συντονισμού (MRI), είναι μια τεχνική ιατρικής απεικόνισης που χρησιμοποιείται στην ακτινολογία για τη διερεύνηση της ανατομίας και τη λειτουργία του σώματος, τόσο για την υγεία όσο και την ασθένεια. Οι MRI σαρωτές χρησιμοποιούν ισχυρά μαγνητικά πεδία και ραδιοκύματα για να σχηματίσουν εικόνες του σώματος. Η τεχνική αυτή χρησιμοποιείται ευρέως στα νοσοκομεία για ιατρική διάγνωση, σταδιοποίηση της νόσου και για παρακολούθηση χωρίς έκθεση σε ιοντίζουσα ακτινοβολία.*

Ο Μαγνητικός τομογράφος έχει ένα ευρύ φάσμα εφαρμογών στην ιατρική διάγνωση και υπολογίζεται ότι υπάρχουν πάνω από 25.000 σαρωτές που χρησιμοποιούνται σε όλο τον κόσμο. Ο Μαγνητικός τομογράφος έχει επιπτώσεις στη διάγνωση και στη θεραπεία σε πολλές ειδικότητες, αν και η επίδραση στη βελτίωση των αποτελεσμάτων για την υγεία είναι αβέβαιη. Ο Μαγνητικός τομογράφος είναι γενικά μια ασφαλής τεχνική αλλά ο αριθμός των συμβάντων που προκαλούν βλάβη στους ασθενείς έχουν αυξηθεί. Οι αντενδείξεις περιλαμβάνουν πλέον τα κοχλιακά εμφυτεύματα και καρδιακούς βηματοδότες, θραύσματα και μεταλλικά ξένα σώματα στις τροχιές και μερικά σιδηρομαγνητικά χειρουργικά εμφυτεύματα. Η ασφάλεια της μαγνητικής τομογραφίας κατά τη διάρκεια του πρώτου τριμήνου της κύησης είναι αβέβαιη, αλλά μπορεί να είναι προτιμότερη σε εναλλακτικές επιλογές. Η συνεχής αύξηση της ζήτησης για την μαγνητική τομογραφία στον κλάδο της υγείας έχει οδηγήσει σε

ανησυχίες σχετικά με την αποτελεσματικότητα του κόστους και την υπερβολική διάγνωση.

#### 4.9.1 Τεχνική λήψης

Ο εξεταζόμενος τοποθετείται εντός ισχυρού μαγνητικού πεδίου (τουλάχιστον 1.5 Tesla-15.000 φορές ισχυρότερο από το μαγνητικό πεδίο της γής). Υπό αυτές τις συνθήκες οι πυρήνες υδρογόνου του σώματος ( που βρίσκονται σχεδόν σε όλες τις ενώσεις - νερό, λίπος και άλλες οργανικές ενώσεις ) προσανατολίζονται παράλληλα ως προς της μαγνητικές γραμμές του πεδίου και εκτελούν μεταπτωτική κίνηση γύρω από τον άξονα των μαγνητικών γραμμών με συγκεκριμένη συχνότητα περιστροφής ( συχνότητα Larmor ). Η συχνότητα αυτή είναι χαρακτηριστική για κάθε άτομο. Η ποσότητα  $\gamma$  είναι ίση με το λόγο της μαγνητικής ροπής εξ' αιτίας του spin προς τη στροφορμή λόγω spin. Ο λόγος  $\gamma$  ονομάζεται γυρομαγνητικός λόγος του spin (gyromagnetic ratio). Είναι φανερό ότι για δεδομένο εξωτερικό πεδίο κάθε τύπος ατομικού πυρήνα εκτελεί μεταπτωτική κίνηση με ορισμένη συχνότητα ( ιδιοσυχνότητα ), που είναι διαφορετική για κάθε άτομο. Συνεπώς η μεταπτωτική αυτή κίνηση αποτελεί ένα μέσο διερεύνησης των διαφόρων τύπων πυρήνων που εμπεριέχονται σε ένα σώμα, είτε αυτό είναι δείγμα κάποιας βιολογικής ή χημικής ουσίας είτε είναι ιστός κάποιου εξεταζόμενου.

Κατά την διάρκεια της εξέτασης τα πηνία ραδιοσυχνότητας του μαγνητικού τομογράφου εκπέμπουν RF ( ραδιοκύματα ) με συχνότητα ίση με αυτή της περιστροφής των πυρήνων ( συχνότητα Larmor ). Οι

πυρήνες απορροφούν την ηλεκτρομαγνητική ενέργεια και αλλάζει η κατάσταση περιστροφής τους. Μετά από την διέγερση με παλμούς RF, ενώ οι τροχιές μεταπίπτουν στην αρχική τους κατάσταση, εκπέμπουν ένα αδύνατο σήμα ραδιοσυχνότητας στην συχνότητα Larmor ( με μικρές αποκλίσεις ). Το αδύναμο εκπεμπόμενο σήμα RF το οποίο λαμβάνουμε είναι το σήμα μαγνητικού συντονισμού. Το σήμα αυτό φθίνει με την πάροδο του χρόνου και ονομάζεται σήμα ελεύθερης επαγωγικής απόσβεσης ( Free Induction Decay ). Έπειτα με την εφαρμογή μετασχηματισμού Fourier στο FID ( σήμα στο πεδίο του χρόνου ) λαμβάνουμε το σήμα στην τελική του μορφή, δηλαδή στο πεδίο των συχνοτήτων.

Κατά την εκτέλεση εξετάσεων MRI ο χωρικός προσδιορισμός των λαμβανόμενων σημάτων γίνεται με την υπέρθεση βαθμιδωτών μαγνητικών πεδίων τα οποία αλλάζουν τοπικά την ισχύ του κύριου πεδίου με αποτέλεσμα την μικρή αλλαγή στην συχνότητα συντονισμού των πυρήνων υδρογόνου. Με αυτό τον τρόπο και την εκπομπή RF παλμών με συγκεκριμένο εύρος συχνοτήτων διεγείρονται συγκεκριμένες περιοχές και μπορεί να προσδιορισθεί η θέση τους με βάση τις διαφορές στην συχνότητα και στον ρυθμό περιστροφής των πρωτονίων.

#### **4.9.2 Τυπική δομή**

Η κύρια συνιστώσα του συστήματος είναι ο κύριος μαγνήτης που παράγει το εξωτερικό στατικό πεδίο  $B_0$ . Υπάρχουν τρεις τύποι μαγνητών που χρησιμοποιούνται στα σύγχρονα συστήματα

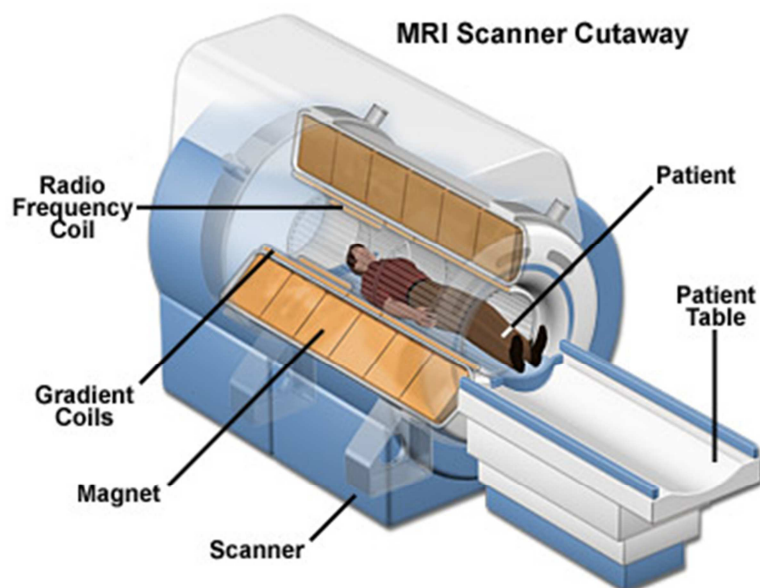
απεικόνισης: 1. μόνιμοι μαγνήτες (Permanent magnets) 2. υπεραγώγιμοι μαγνήτες (Superconductive magnets) και 3. μαγνήτες αντιστάσεως (Resistive magnets).

Οι μόνιμοι μαγνήτες κατασκευάζονται από κάποιο μόνιμα μαγνητισμένο υλικό. Οι υπεραγώγιμοι και οι μαγνήτες αντιστάσεων αποτελούνται από πηνία ή σωληνοειδή που διαρρέονται από ηλεκτρικό ρεύμα. Λειτουργούν με βάση την αρχή της παραγωγής μαγνητικού πεδίου στο περιβάλλον ενός ρευματοφόρου αγωγού. Στην περίπτωση των υπεραγώγιμων μαγνητών το υλικό κατασκευής επιλέγεται ώστε να παρουσιάζει το φαινόμενο της υπεραγωγιμότητας (superconductivity). Δηλαδή το φαινόμενο κατά το οποίο συμβαίνει μηδενισμός της ηλεκτρικής αντίστασης σε χαμηλές θερμοκρασίες (χαμηλότερες από μια ορισμένη τιμή που είναι διαφορετική για κάθε υλικό). Εκτός από τον βασικό μαγνήτη ένα σύστημα απεικόνισης πρέπει να διαθέτει τέσσερα ακόμα είδη πηνίων: 1. πηνία βαθμίδας (gradient coils), για την παραγωγή της βαθμίδας πεδίου και το χωρικό προσδιορισμό της απεικονιζόμενης περιοχής, 2. πηνία εξομάλυνσης (shim coils), για την εξομάλυνση των ανομοιογενειών του στατικού μαγνητικού πεδίου, 3. πηνία ραδιοσυχνότητας (RF coils), για παραγωγή μαγνητικών παλμών και ανίχνευση σημάτων FID, και 4. πηνία επιφανείας (surface coils), για την διέγερση της επιλεγμένης περιοχής του σώματος.

Τέλος το απεικονιστικό σύστημα περιλαμβάνει έναν ισχυρό ηλεκτρονικό υπολογιστή για την ανακατασκευή και την επεξεργασία των λαμβανόμενων σημάτων.

Ολο το σύστημα του μαγνήτη, με τα διάφορα πηνία, βρίσκεται στο βασικό σώμα (ή ικρίωμα-gantry) του μηχανήματος. Το σώμα έχει συνήθως σχήμα, κατά προσέγγιση, ορθογωνίου παραλληλεπιπέδου με

ένα άνοιγμα-σήραγγα (τούνελ) στο μέσον της πρόσοψής του. Στο άνοιγμα αυτό εισάγεται ο ασθενής. Το άνοιγμα είναι σημαντικά μεγαλύτερο στα λεγόμενα συστήματα ανοικτών μαγνητών (open magnets). Σε τέτοια συστήματα το βασικό σώμα του μηχανήματος μπορεί να έχει τη μορφή δύο κυλινδρικών δακτυλίων. Ανάμεσα στους δακτυλίους υπάρχει επαρκής χώρος ώστε να διευκολύνονται χειρουργικές επεμβάσεις (σε χώρους χειρουργείου). Σε άλλα συστήματα το σώμα του μηχανήματος έχει δύο κυλινδρικά σώματα (πόλοι), εκ των οποίων το ένα βρίσκεται επάνω από τον ασθενή και το άλλο από κάτω. Συνεπώς μεταξύ των πόλων υπάρχει επαρκής χώρος για επεμβάσεις, για εξετάσεις παιδιών και για διευκόλυνση κλειστοφοβικών ασθενών. Το βασικό σώμα του μηχανήματος είναι τοποθετημένο σε κατάλληλα διευθετημένο χώρο που ονομάζεται χώρος εξέτασης (scan room).



**Σχήμα 4.12**

*MRI Σαρωτής σε τομή ( Πηγή : MRI: A Guided Tour, MAGNET LAB, National High Magnetic Field Laboratory, [www.magnet.fsu.edu](http://www.magnet.fsu.edu) )*

### **4.9.3 Σκιαγραφικές ουσίες στην μαγνητική τομογραφία**

Πρόκειται για ουσίες που χρησιμοποιούνται, όπως και στις άλλες απεικονιστικές μεθόδους για ενίσχυση της αντίθεσης μεταξύ δυο ιστών. Οι ουσίες που χρησιμοποιούνται στο μαγνητικό συντονισμό διαφέρουν τελείως από αυτές των ακτινών Χ. Μια βασική διαφορά είναι ο μηχανισμός μέσω του οποίου επιτυγχάνεται η ενίσχυση της αντίθεσης. Στις ακτίνες Χ χρησιμοποιούνται υλικά μεγάλου ατομικού αριθμού που απορροφούν την ακτινοβολία. Στο μαγνητικό συντονισμό η ενίσχυση της αντίθεσης βασίζεται στη μεταβολή των χρόνων μαγνητικής αποκατάστασης. Οι χρησιμοποιούμενες ουσίες είναι κυρίως παραμαγνητικά ιόντα, παραμαγνητικά σύμπλοκα και μοριακό οξυγόνο. Πρόκειται για μόρια ή ιόντα που διαθέτουν ένα ασύζευτο (μονήρες) ηλεκτρόνιο. Το ηλεκτρόνιο αυτό έχει μεγάλη μαγνητική ροπή. Όταν μια παραμαγνητική ουσία βρεθεί μέσα σε μαγνητικό πεδίο ( $B_0$ ) οι μαγνητικές ροπές προσανατολίζονται παράλληλα με τις δυναμικές γραμμές του πεδίου. Το αποτέλεσμα είναι η μεταβολή της έντασης του τοπικού πεδίου με αντίστοιχες μεταβολές στους χρόνους μαγνητικής αποκατάστασης των γειτονικών ιστών (που παρουσιάζουν διαγνωστικό ενδιαφέρον). Αυτό που ενδιαφέρει, ως προς την ενίσχυση της αντίθεσης είναι η ελάττωση του χρόνου μαγνητικής αποκατάστασης. Η ελάττωση αυτή έχει ως αποτέλεσμα την ενίσχυση του σήματος που προέρχεται από τον εξεταζόμενο ιστό. Η ελάττωση του χρόνου

μαγνητικής αποκατάστασης είναι ανάλογη της συγκέντρωσης της παραμαγνητικής ουσίας και του τετραγώνου της μαγνητικής ροπής. Η χορήγηση των σκιαγραφικών ουσιών μπορεί να γίνει με ενδοαγγειακή έγχυση, από το στόμα ή και με εισπνοή. Ως σκιαγραφικά ενδοαγγειακής έγχυσης έχουν προταθεί τα ιόντα Γαδολινίου ( $Gd^{3+}$ ), Χρωμίου ( $Cr^{3+}$ ) και Μαγγανίου ( $Mn^{2+}$ ) συνδεδεμένα με χημικά σύμπλοκα όπως EDTA και DTPA, καθώς επίσης και ελεύθερες σταθερές ρίζες μονοξειδίου του Αζώτου (Nitroxide stable free radicals- NSFR) και κυρίως τα παράγωγα πιπεριδίνη και πυρρολιδίνη. Ως ουσίες χορηγούμενες από το στόμα έχουν προταθεί: διαλυτά μεταλλικά ιόντα όπως (ferric ammonium citrate), διαλυτά μεταλλικά σύμβολα ιόντων όπως Cr-EDTA και αδιάλυτες ουσίες όπως (gadolinium oxalate). Τέλος για χορήγηση με εισπνοή έχει προταθεί το μοριακό οξυγόνο το οποίο διαθέτει δυο ασύζευκτα ηλεκτρόνια (με παράλληλα spin) και συνεπώς είναι παραμαγνητικό. Εκτός από τις σκιαγραφικές ουσίες που επηρεάζουν τους χρονικούς T1, T2 έχουν προταθεί και ουσίες που επηρεάζουν την πυκνότητα πρωτονίων χωρίς όμως σημαντικές εφαρμογές μέχρι στιγμής.

#### **4.9.4 Γαδοπεντετικό οξύ ( Gadopentetic acid )**

Το Γαδοπεντετικό οξύ είναι ένα από τα εμπορικά ονόματα για έναν παράγοντα αντίθεσης MRI με βάση το γαδολίνιο, συνήθως χορηγείται ως άλας ενός συμπλόκου γαδολινίου με DTPA (διαιθυλενοτριαμινοπενταοξικό) με το χημικό τύπο  $A_2[Gd(DTPA)(H_2O)]$  που όταν το κατιόν Α είναι η πρωτονιωμένη μορφή της μεγλουμίνης

αμινοσακχάρου το άλας πηγαίνει κάτω από την ονομασία "Gadopentetate dimeglumine". Δημιουργήθηκε το 1981 και εισήχθη ως ο πρώτος παράγοντας αντίθεσης MRI το 1987. Χρησιμοποιείται για να βοηθήσει την απεικόνιση των αιμοφόρων αγγείων και τη φλεγμονή ή άρρωστο ιστό όπου τα αιμοφόρα αγγεία γίνονται «διαπερατά». Συχνά χρησιμοποιείται κατά την προβολή ενδοκρανιακών βλαβών με ανώμαλη αγγείωση ή ανωμαλίες στο φράγμα αίματος-εγκεφάλου. Η ένεση συνήθως χορηγείται ενδοφλεβίως. Το Gd-DTPA έχει χαρακτηριστεί ως ένα μη κυκλικό, ιονικό γαδολίνιο σκιαγραφικό μέσο. Η παραμαγνητική ιδιοκτησία του μειώνει τον χρόνο χαλάρωσης T1 (και σε κάποιο βαθμό τα T2 και T2 \* φορές χαλάρωσης) στο NMR, η οποία είναι η πηγή της κλινικής χρησιμότητας της.

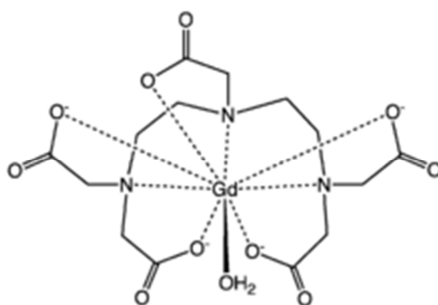
Διατίθεται στο εμπόριο ως **Magnevist** από την Bayer Schering Pharma και ήταν ο πρώτος ενδοφλέβιος παράγοντας αντίθεσης που έγινε διαθέσιμος για κλινική χρήση και έχει ευρεία χρήση σε όλο τον κόσμο. Παρόμοιοι παράγοντες αντίθεσης είναι το Dotarem (gadoterate) που κατασκευάζεται από την Guerbet, η MultiHance (gadobenate dimeglumine) και η ProHance (γαδοτεριδόλη) που κατασκευάζεται από την Bracco, η Omniscan (γαδοδιαμίδη) που κατασκευάζεται από την GE Healthcare και η OptiMARK (γαδοβερσεταμίδη) που κατασκευάζεται από την Mallinckrodt.

Οι βασικοί παράγοντες Γαδολίνιου μπορούν να προκαλέσουν τοξική αντίδραση που είναι γνωστή ως νεφρογενής συστηματική ίνωση (NSF) σε ασθενείς με σοβαρά νεφρικά προβλήματα.

Στο συγκρότημα του Gd<sup>3+</sup> και DTPA<sup>5-</sup> το ιόν γαδολινίου είναι 9-coordinate, που περιβάλλεται από τα 3 άτομα αζώτου και 5 άτομα οξυγόνου από τις καρβοξυλικές ομάδες. Η ένατη θέση συντονισμού



είναι κατειλημμένη από ένα μόριο νερού. Αυτό το μόριο του νερού είναι ασταθές και ανταλλάσσει γρήγορα με τα μόρια του νερού στη γύρω περιοχή του συμπλόκου γαδολινίου. Το ιόν γαδολίνιο έχει 7 ασύζευκτα ηλεκτρόνια με παράλληλα spin και είναι έντονα παραμαγνητικό με μια 1S ηλεκτρονική κατάσταση εδάφους. Ο χρόνος χαλάρωσης των μορίων του νερού επηρεάζεται από την διακοπτόμενη δεσμευτική τους στο παραμαγνητικό κέντρο. Αυτό αλλάζει τις MRI ιδιότητές τους και επιτρέπει την ενίσχυση της αντίθεσης που πρέπει να επιτευχθεί.



**Σχήμα 4.13**

Γαδοπεντετικό οξύ ( Πηγή : *Gd(DTPA)(aq)2- .png, Wikipedia The Free Encyclopedia* )

#### 4.10 Ερωτήσεις

- Τι είναι ο *Νανομαγνητισμός* ;
- Τι είναι το *μαγνητικό πεδίο* ;
- Ποιες είναι οι κατηγορίες του μαγνητισμού;
- Τι είναι ο *μαγνητικός τομέας* ;
- Τι γνωρίζετε για την *αποθήκευση δεδομένων* ;
- Τι είναι ο *μαγνητικός διαχωρισμός* ;
- Πού είναι χρήσιμος ένας *ροφητής* ;
- Τι γνωρίζετε για τη “ *σύνθεση κουζίνας* ” ;
- Τι γνωρίζετε για τη *μαγνητική τομογραφία* ;

## **Κεφάλαιο 5 : Η Νανοϊατρική**

### **5.1 Εισαγωγή**

Ο στόχος της νανοτεχνολογίας είναι να κερδίσει τον ατομικό και μοριακό έλεγχο της ύλης. Περιλαμβάνει την κατασκευή λειτουργικών υλικών με έλεγχο πάνω στα φυσικά μεγέθη τους, τα οποία εμφανίζουν νέες φυσικές και χημικές ιδιότητες που είναι δραστικά διαφορετικές από τις αντίστοιχες που έχουν στη μακροσκοπική κλίμακα. Τα φυσικά μεγέθη αυτών των υλικών δημιουργούν ισχυρό ενδεχόμενο αλληλεπίδρασης με τα βιολογικά συστήματα. Τα βιολογικά συστήματα περιέχουν διάφορα συστατικά τα οποία είναι κατ' ουσίαν νανομετρικών διαστάσεων ( πρωτεΐνες, νουκλεϊκά οξέα, μεμβράνες ), γεγονός που συνεπάγεται ενδεχόμενες συνέργειες μεταξύ των νανοσυστημάτων και των βιολογικών συστατικών. Αυτό μπορεί να έχει επιπτώσεις στην κατανόηση των διαφόρων βιολογικών διεργασιών. Μια τέτοια κατανόηση μπορεί να επιτευχθεί μέσω της χρήσης νανοαισθητήρων ή ανιχνευτών για τον εντοπισμό της νόσου. Σήμερα τα νανοφάρμακα αναπτύσσονται για να υπάρχει ακριβής, ελεγχόμενη, αξιόπιστη, οικονομική και ταχεία απόκριση διαγνωστικών και θεραπευτικών λύσεων για τα διάφορα είδη των ασθενειών. Με την πρόοδο στη διαδικασία ανακάλυψης φαρμάκων, το άγχος που υπάρχει αφορά την αποτελεσματική παροχή φαρμάκου στο προσβεβλημένο όργανο.

Είναι γνωστό ότι πολλοί θεραπευτικοί παράγοντες έχουν ενδοκυττάριο χώρο ως θέση δράσης τους. Για παράδειγμα, ο πυρήνας είναι η θέση δράσης ενός αντι-καρκινικού μέσου παρεμβολής ενώ το

κυτταρόπλασμα είναι το κέντρο για έναν αριθμό στεροειδών. Συνεπώς, η αποτελεσματικότητα του φαρμάκου εξαρτάται από την παρατεταμένη διαθεσιμότητά του στο στοχευμένο σημείο παράδοσης. Έτσι, η χορήγηση φαρμάκου επηρεάζεται από την ανικανότητα του μορίου του φαρμάκου να διαφύγει ουσιαστικά τα ενδοσωμιακά / λυσοσωμιακά μονοπάτια, να μεταφερθεί δια μέσου των μεμβρανών και να φτάσει στη θέση προορισμού παράδοσης εντός του κυττάρου. Η χρήση των νανοσωματιδίων με σκοπό τη χορήγηση φαρμάκου γίνεται σημαντική λόγω της υψηλής επιφάνειας προς τον όγκο αναλογία τους, τα βελτιωμένα χαρακτηριστικά ανίχνευσης, την ευκολότερη μεταφορά κατά μήκος της μεμβράνης και την πιθανή προστασία των μορίων του φαρμάκου. Διάφορες μελέτες επιβεβαιώνουν το γεγονός ότι το μέγεθος των σωματιδίων θα πρέπει να είναι αρκετά μικρό για να μεταφέρονται σε ολόκληρη τη μεμβράνη και η μεταφορά αυτή συμβαίνει πιο εύκολα για τα νανοσωματίδια παρά για τα μικροσωματίδια.

## **5.2 Προσέγγιση των αναπτυσσόμενων Νανοφαρμάκων**

Ανάλογα με τη μέθοδο παρασκευής και την κάλυψη παρόντος παράγοντα ( capping agent present ), τα νανοσωματίδια ποικίλουν σε μέγεθος από 10 έως 1000 nm. Τα φάρμακα μπορούν να συνδέονται με τα νανοσωματίδια σε παγιδευμένη, έγκλειστη ή προσαρτημένη μορφή. Τα νανοφάρμακα συντίθενται σε διάφορες μορφές, όπως νανοσφαίρες ( το φάρμακο υπάρχει στα νανοσωματίδια ως παράγοντας καλύψεως ), νανοκάψουλες ( το φάρμακο περιορισμένο σε μια κοιλότητα που περιβάλλεται από μία πολυμερική στιβάδα ), νανοπόροι

( η επιφάνεια των νανοσωματιδίων είναι διάτρητη με οπές, οι οποίες περιέχουν μόρια φαρμάκου ), δενδριμερή κ.ά. Ο σκοπός της ενθυλάκωσης ή παγίδευσης είναι να αποκτήσουν έναν καλύτερο βαθμό ελέγχου κατά τη διάρκεια της διαδικασίας απελευθέρωσης του φαρμάκου. Η προσέγγιση αυτή βρίσκει όφελος στην αποτελεσματική και σταθερή παροχή φαρμάκου έναντι των συμβατικών φαρμάκων λόγω της κινητικής συμπεριφοράς που παρατηρήθηκε κατά την απελευθέρωση φαρμάκου. Τα ενθυλακωμένα φάρμακα που βασίζονται στο νανο-σύστημα παρατηρήθηκε να εκδηλώνουν σχεδόν μηδενικής τάξης κινητικό προφίλ λαμβάνοντας υπόψη ότι τα συμβατικά από του στόματος φάρμακα ακολουθούν κινητική πρώτης τάξης που οδηγεί σε ασταθή απελευθέρωση του φαρμάκου στην περιοχή χορήγησής του. Το φαινόμενο της κινητικής μηδενικής τάξης έχει παρατηρηθεί κυρίως για πολυμερικά νανοσωματίδια. Επιπλέον, διάφορες ερευνητικές ομάδες, έχουν θεσπίσει τη χρήση πολυμερικών νανοσωματιδίων για ρινική και οφθαλμική χορήγηση φαρμάκων. Αυτή η ομάδα των νανοσωματιδίων έχει επίσης δείξει έμφαση για χρήση σε νευρο-διαταραχές, όπου στην περίπτωση αυτή ένας μεγάλος αριθμός άλλων φαρμάκων αποτυγχάνει. Επιπλέον, φορείς νανομέγεθους μορίων βιταμίνης, όπως βιταμίνη Α και Ε, έχουν πιθανές εφαρμογές στη δερματολογία και στα καλλυντικά.

Διάφορα είδη προσεγγίσεων μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να συνδέουν τα φάρμακα με τα νανοσυστήματα. Μπορεί να υπάρχει ηλεκτροστατική αλληλεπίδραση ή ομοιοπολική σύνδεση μεταξύ νανοσωματιδίου και φαρμάκου. Η επιφάνεια των νανοσωματιδίων μπορεί να γίνεται ηλεκτρικά ουδέτερη ή φορτισμένη, ανάλογα με τη λειτουργική ομάδα που υπάρχει στην επιφάνεια. Οι ιδιότητες της

επιφάνειας μπορούν να συντονιστούν ανάλογα με την αλληλεπίδραση φαρμάκου-νανοσωματιδίου που απαιτείται.

### **5.3 Χρήση διάφορων ειδών Νανοσυστημάτων**

Τα μεταλλικά νανοσωματίδια χρησιμοποιούνται ως οχήματα διανομής φαρμάκων. Ωστόσο, υπάρχουν διάφορα άλλα συστήματα για τη συγκεκριμένη εφαρμογή που αναφέρονται παρακάτω εν συντομία.

#### **5.3.1 Νανοκελύφη ( Nanoshells )**

Τα Νανοκελύφη αποτελούν μια μοναδική κατηγορία ιατρικά εξέχοντων νανοσωματιδίων. Αυτά είναι κατασκευασμένα από μεταλλικές νανόσφαιρες επικαλυμμένες με φάρμακο / νανόσφαιρες διηλεκτρικού μετάλλου (π.χ. επιχρυσωμένο νανοσωματίδιο πυριτίου). Τυπικά μέταλλα περιλαμβάνουν τον χρυσό, το ασήμι, την πλατίνα και το παλλάδιο. Είναι αρκετά προφανές ότι η απόκριση αυτών των νανοκελύφων είναι σε συνάρτηση του πάχους του κελύφους / παράγοντα καλύψεως. Όταν αυτά τα νανοκελύφη ακτινοβολούνται με λέιζερ γνωστής έντασης, προκαλείται η απελευθέρωση της παρούσας επικάλυψης του φαρμάκου στην επιφάνεια του νανοσωματιδίου. Η διαδικασία απελευθέρωσης μπορεί να επιτευχθεί με τη χρήση ενός εναλλασσόμενου μαγνητικού πεδίου.

Αυτή η προσέγγιση για την απελευθέρωση του παράγοντα καλύψεως μπορεί να έχει επιπτώσεις στη θεραπεία του καρκίνου. Μία υψηλή αναλογία επιφάνειας προς τον όγκο για τα νανοσωματίδια ενεργοποιεί μεγάλη ποσότητα φαρμάκων που πρόκειται να μεταφερθεί μέσα στην πληγείσα περιοχή. Έχουν επίσης γίνει προσπάθειες να επικαλύψουν επιφάνειες νανοσωματιδίων με μόρια αντισώματος, ειδικά σε μια συγκεκριμένη πρωτεΐνη που υπάρχει στο ανθρώπινο σώμα. Αυτό μπορεί να έχει σοβαρές επιπτώσεις στην ανίχνευση του καρκίνου, στην ανοσολογική δοκιμή πρωτεΐνης και στη βιοαίσθηση.

### **5.3.2 Νανοπόροι ( Nanopores )**

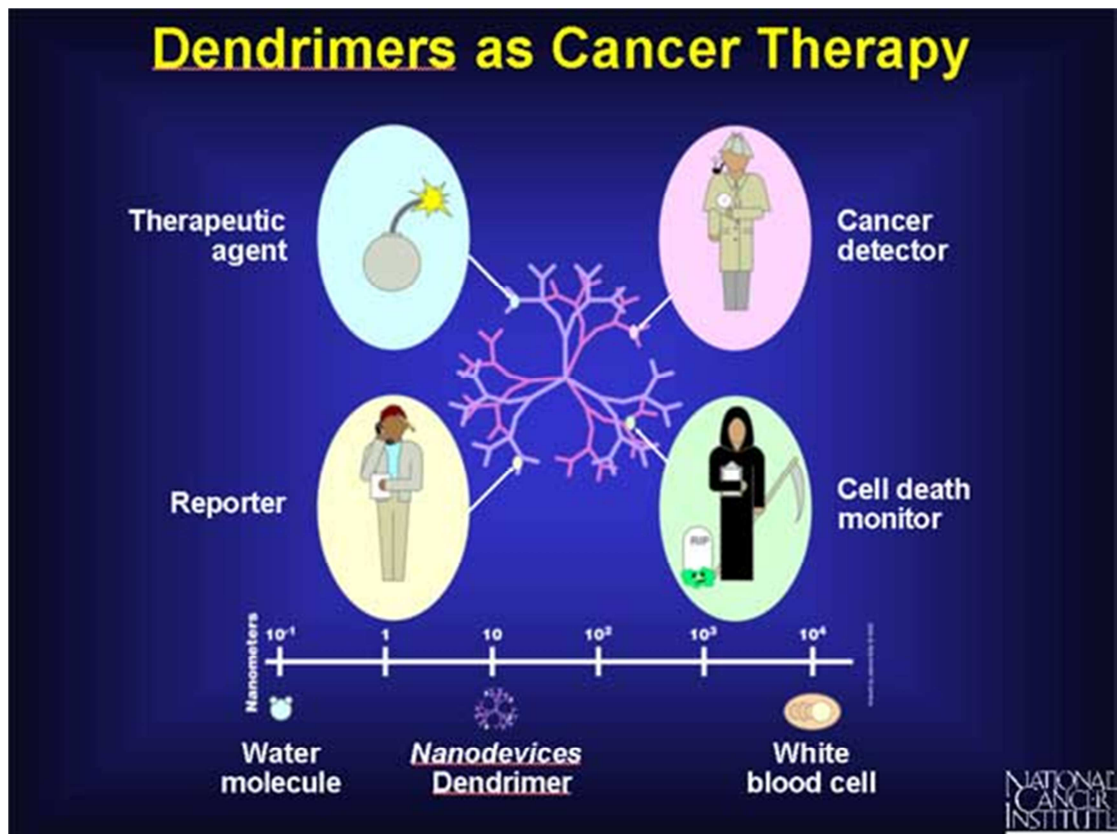
Οι νανοπόροι είναι ουσιαστικά νανοσωματίδια των οποίων η επιφάνεια περιέχει πόρους, που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να περιέχουν φάρμακα. Ομοιόμορφα κατανεμημένες οπές δημιουργούνται στην επιφάνεια στην οποία ένα μόριο φαρμάκου περιέχεται. Το μέγεθος του πόρου επιβάλλει έναν περιορισμό σχετικά με το μέγεθος των βιομορίων που υπάρχουν. Αυτό σημαίνει ότι μικρά μόρια σαν το οξυγόνο, γλυκόζη, ινσουλίνη, νευροδιαβιβαστές, κλπ. μπορούν να κινηθούν σε όλη την επιφάνεια του πόρου ενώ τα μεγάλα μόρια του ανοσοποιητικού συστήματος όπως η ανοσοσφαιρίνη δεν μπορεί. Έχουν γίνει επίσης προσπάθειες για τον έλεγχο της ροής των μορίων σε όλο τον πόρο για ειδικές δυνατότητες μοριακής μεταφοράς, με τη χρήση της πύλης τάσης και ακινητοποιημένων βιοχημικών μοριακής -αναγνώρισης παραγόντων. Στην πρώτη προσπάθεια για τη δημιουργία πυλωτών ( voltage gated ) νανοπόρου εμπλέκεται μια

σειρά κυλινδρικών χρυσών νανοσωλήνων με εσωτερική διάμετρο τόσο μικρή όσο 1,6 nm. Για να αναπτυχθεί η θετική φόρτιση στο σωληνάριο, τα θετικά ιόντα δεν μεταφέρθηκαν στο εσωτερικό του νανοπόρου ώστε να υποβληθεί σε μια αντίδραση με το μόριο φαρμάκου παγιδευμένο μέσα. Ομοίως, μόνο θετικά ιόντα θα μπορούσαν να περάσουν σε εφαρμογή αρνητικής τάσης. Ο στόχος είναι να αποκτήσει μια σημαντική βελτίωση στην απομόνωση του στοχευόμενου μορίου με το οποίο τα μόρια του φαρμάκου πρέπει να αλληλεπιδρούν, με τη χρήση συνδυαστικών εργαλείων όπως τη δίοδο τάσης, το μέγεθος και το σχήμα του πόρου.

### 5.3.3 Tectodendrimers

Τα δενδριμερή είναι διακλαδισμένα νανοσωματίδια σε σχήμα δέντρου, τα οποία έχουν ένα τεράστιο δυναμικό για χρήση σε κλινικές διαγνώσεις και θεραπείες. Διάφορες ερευνητικές ομάδες έχουν κατασκευάσει πολυσύνθετες νανοσυσκευές, οι οποίες ονομάζονται “ *tectodendrimers* ” και σχηματίζονται με προσάρτηση διαφόρων τύπων των δενδριμερών με κάθε άλλο μέσο των τομέων δραστηριοτήτων τους. Αυτές οι έξυπνες νανοσυσκευές έχουν δημιουργηθεί για εφαρμογές που κυμαίνονται από την ανίχνευση μέχρι τη θεραπεία των ασθενειών.





**Σχήμα 5.1**

Τα δενδριμερή στη θεραπεία του Καρκίνου ( Πηγή : *National Cancer Institute*, [www.cancer.gov](http://www.cancer.gov) )

## 5.4 Πρωτόκολλα για χορήγηση Νανοφαρμάκων

### 5.4.1 Σύστημα νανοσωματιδίου- φαρμάκου για Στοματική Χορήγηση

Διάφορα είδη προσεγγίσεων έχουν επιχειρηθεί για την παράδοση του συμπλόκου φαρμάκου-νανοσωματιδίου με στόχο συγκεκριμένες περιοχές στο ανθρώπινο σώμα. Μια ανάλυση δείχνει ότι οι βασικές

προϋποθέσεις για την επιτυχή υλοποίηση ενός συστήματος νανοσωματίδιου- φαρμάκου μέσω χορήγησης από το στόμα είναι :

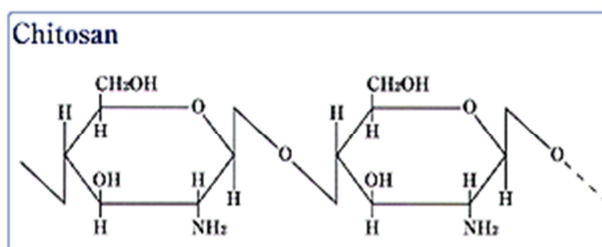
1. Το σύμπλοκο πρέπει να είναι σταθερό στην γαστρεντερική οδό.
2. Τα πεπτικά ένζυμα του συστήματος θα πρέπει να ενεργούν επί του συμπλόκου και να το αφομοιάσουν και το προϊόν θα πρέπει να στη συνέχεια να μεταφέρεται κατά μήκος του εντερικού επιθηλίου.
3. Τα προϊόντα από την πέψη του πολύπλοκου συστήματος νανοσωματιδίων δεν θα πρέπει να είναι κυτταροτοξικά για το ανθρώπινο σώμα.

Προκειμένου να αποφευχθεί η αποσύνθεση του συμπλόκου πριν από τα πεπτικά ένζυμα αρχίσουν να αλληλεπιδρούν με αυτό, ένα υβριδικό σύστημα υδροφοβικού υδρόφιλου πυρήνα κέλυφος ( core-hydrophilic shell ) έχει σχεδιαστεί το οποίο δρα ως φορέας για μόρια φαρμάκου. Ο πυρήνας κατασκευάζεται από υδρόφοβο υλικό, όπως έλαια ή λιπίδια ενώ το κέλυφος είναι υδρόφιλης φύσεως και αποτελείται από πολυαιθυλενογλυκόλη (PEG που προστατεύει από την προσρόφηση της πρωτεΐνης) ή χιτοζάνη (ένας γνωστός ενισχυτής διαπερατότητας). Η χιτοζάνη είναι μια φυσική ουσία με την ικανότητα να δεσμεύει σημαντικά το λίπος χωρίς το ίδιο να υποστεί πέψη. Οι διάφορες αναφερόμενες εφαρμογές για χιτοζάνη είναι:

1. Απορροφά και δεσμεύει το λίπος / προάγει την απώλεια βάρους.
2. Προάγει την επούλωση των ελκών και των βλαβών.
3. Χρησιμοποιείται ως αντι-βακτηριακός παράγοντας και αντιόξινο.

4. Εμποδίζει το σχηματισμό της φθοράς των πλακών / δοντιών.
5. Βοηθά τον έλεγχο της αρτηριακής πίεσης και στην πρόληψη της δυσκοιλιότητας.
6. Έχει μια δράση κατά των όγκων.

Τα μόρια του φαρμάκου που υπάρχουν στο εσωτερικό του πυρήνα του νανοκελύφους προστατεύονται λόγω της αποικοδόμησης από το κέλυφος. Αυτό το σύστημα έχει δημιουργηθεί εξαναγκάζοντας τον προσανατολισμό του τμήματος PEG προς την επιφάνεια και συγκεντρώνοντας το υδρόφοβο πολυμερές προς τον πυρήνα. Αυτό το νανοσύστημα απέδειξε την αποτελεσματικότητά του στην παροχή του φαρμάκου όταν μεταφέρεται με ασφάλεια το τοξοειδές του τετάνου πρωτεΐνης στην κυκλοφορία του αίματος. Παρόμοια επιτυχή αποτελέσματα αναφέρθηκαν για την καλσιτονίνη σολομού σύμπλοκο πεπτιδίου-νανοσωματιδίου όταν χρησιμοποιείται σε αρουραίους. Έχει επίσης αποδειχθεί ότι οι νανοκάψουλες από πολυ-αλκυλκυανοακρυλικό είναι σε θέση να αυξάνουν την απορρόφηση της ινσουλίνης όταν χορηγείται δια του στόματος.



**Σχήμα 5.2**

Δομή της χιτοζάνης ( Πηγή : [www.swicofil.com](http://www.swicofil.com) )

## 5.4.2 Σύστημα νανοσωματίδιου - φαρμάκου για Ρινική Χορήγηση

Έχει διαπιστωθεί ότι η ρινική οδός για χορήγηση φαρμάκου είναι πιο αποτελεσματική ( ειδικά για μικρά πεπτίδια ) λόγω μιας καλύτερης διαδικασίας μεταφοράς και χαμηλότερης ενζυματικής δραστηριότητας για τη ρινική βλεννογόνο. Μελέτες δείχνουν ότι το σύστημα νανοσωματίδιο-φάρμακο είναι ικανό να διαπερνά το ρινικό επιθήλιο με την ισχυρή επιρροή της σύνθεσης της επιφάνειας νανοσωματιδίων σχετικά με τα ποσοστά των μεταφορών. Γυμνά νανοσωματίδια συσσωματώνονται στη στιβάδα βλέννης και ως εκ τούτου δεν μεταφέρονται με το μοντέλο πρωτεΐνης τοξοειδούς τετάνου ενώ σημαντική αύξηση στην απορρόφηση παρατηρήθηκε όταν χρησιμοποιήθηκε PEG ως επιφάνεια καλύμματος στο γυμνό νανοσωματίδιο. Νανοσωματίδια που καλύπτονται από PEG παρατηρήθηκαν να κυκλοφορούν στη ροή του αίματος και η σχετική πρωτεΐνη παραδόθηκε σε κατάλληλη θέση. Παρόμοια αποτελέσματα έχουν επίσης παρατηρηθεί για διάφορα άλλα είδη εμβολίων. Τα νανοσωματίδια που είναι επικαλυμμένα με χιτοζάνη έχουν επίσης παρατηρηθεί να ανταποκρίνονται με παρόμοιο τρόπο. Όταν δοκιμάστηκαν για τη ρινική απορρόφηση της ινσουλίνης σε κουνέλια, παρατηρήθηκε ότι η απορρόφηση του φαρμάκου ήταν σημαντικά υψηλότερη. Ομοίως, παρατηρήθηκε βελτιωμένη ρινική μεταφορά της πρωτεΐνης ατοξίνης τετάνου όταν ήταν έγκλειστα σε ένα νανοσωματίδιο χιτοζάνης με λεπτό υμένιο. Αυτό οφείλεται στη διαδικασία διευκόλυνσης της αλληλεπίδρασης και εσωτερικοποίησης των εν λόγω Νανοσυστημάτων στο ρινικό επιθήλιο.

### 5.4.3 Σύστημα νανοσωματίδιου - φαρμάκου για Οφθαλμική Χορήγηση

Παρατηρήθηκε ότι πολυ-αλκυλο-κυανοακρυλικά νανοσωματίδια κατάφεραν να εισέλθουν στο καλά οργανωμένο κερατοειδές επιθήλιο αν και προκλήθηκαν ελαφρές ζημιές στα επιθηλιακά κύτταρα. Λόγω της καλύτερης οργάνωσης των κυττάρων στο επιθήλιο του κερατοειδούς, η διάσταση του φορέα θα πρέπει να είναι στην περιοχή κάτω του  $\mu\text{m}$ . Έχει επίσης αποδειχθεί ότι η παρούσα επίστρωση στην επιφάνεια των νανοσωματιδίων έχει σημαντική επίδραση στη μεταφορά του φαρμάκου διαμέσου του κερατοειδούς επιθηλίου. Όταν τα πειράματα διεξήχθησαν με επικαλυμμένα με  $^{14}\text{C}$ -ινδομεθακίνη χιτοζάνη Νανοσυστήματα, παρατηρήθηκε ότι το σύμπλοκο διεισδύει στις επιφανειακές στιβάδες του επιθηλίου μέσω trans-cellular μονοπατιού και τα συστήματα χιτοζάνης με λεπτό υμένιο είχαν μια καλή οφθαλμική ανεκτικότητα ( χαμηλό δείκτη οφθαλμικής βλάβης ). Αυτό το συγκρότημα των νανοσωματιδίων ήταν επίσης σε θέση να παρέχει επιλεκτική και παρατεταμένη παράδοση της κυκλοσπορίνης Α στον οφθαλμικό βλεννογόνο, χωρίς να θέτει σε κίνδυνο τους εσωτερικούς οφθαλμικούς ιστούς αποφεύγοντας τη συστηματική απορρόφηση. Αυτή η παρατεταμένη παράδοση οφειλόταν στην οφθαλμική κατακράτηση νανοσωματιδίων χιτοζάνης.

## 5.5 Η Νανοτεχνολογία σε διαγνωστικές εφαρμογές

Οι ερευνητικές προσπάθειες επίσης οδηγούνται προς την κατεύθυνση της χρήσης νανοτεχνολογίας για μοριακούς διαγνωστικούς σκοπούς, όπως τη βιολογική έρευνα, την κλινική διάγνωση, τον εντοπισμό βιομορίων και την ανακάλυψη φαρμάκων. Το επίκεντρο αυτής της ενότητας είναι στην κατανόηση της χρήσης των Νανοσυστημάτων για την κλινική διάγνωση, ειδικά στην έγκαιρη διάγνωση διαφόρων μορφών καρκίνου. Το κύριο μειονέκτημα των εργαστηριακών δοκιμασιών που χρησιμοποιούνται σήμερα για την ανίχνευση του καρκίνου είναι ότι προσπαθούν για τον εντοπισμό ορατές αλλαγές στη μορφολογία των κυττάρων μέσω μικροσκοπίας. Προφανώς, η πρακτική αυτή δεν μπορεί να δηλώσει με 100 τοις εκατό εξειδίκευση και ευαισθησία τις αληθινές περιπτώσεις της διαταραχής ( που προσδιορίζονται από το κλινικό κριτήριο ) στο στάδιο κακοήθειας των κυττάρων. Δυστυχώς, η ανίχνευση πολλών καρκίνων στο μικροσκοπικό επίπεδο συχνά λαμβάνει χώρα όταν είναι πολύ αργά για την επιτυχή παρέμβαση και οι τεχνικές αυτές πάσχουν από ενδο-παρατηρητική υποκειμενικότητα.

Η ανάπτυξη των όγκων είναι μια πολύπλοκη διαδικασία, που απαιτεί συντονισμένες αλληλεπιδράσεις πολλών πρωτεϊνών, μονοπάτια σήματος και κυτταρικούς τύπους. Ως αποτέλεσμα των εκτεταμένων μελετών της μοριακής παθογένεσης του καρκίνου, αρκετές νέες ρυθμιστικές οδοί και δίκτυα έχουν εντοπιστεί. Η οριοθέτηση αυτών των μονοπατιών αποκάλυψε πολλά μοναδικά γεγονότα, που χαρακτηρίζονται από μορφολογικές και ιστολογικές μεταβολές των κυττάρων και την έκφραση των γονιδίων και των πρωτεϊνών που

συνοδεύουν τον ογκογόνο μετασχηματισμό. Έτσι, η υπογραφή κυττάρων αλλάζει κατά τη διάρκεια της ανάπτυξης του καρκίνου. Εάν αυτές οι αλλαγές διαβάζονται με ακρίβεια, υπάρχει μια ισχυρή πιθανότητα βελτίωσης των ικανοτήτων της έγκαιρης ανίχνευσης και διάγνωσης για διάφορες μορφές καρκίνου. Αυτές οι πρώιμες αλλαγές στην υπογραφή των κυττάρων αντικατοπτρίζονται στην κατάσταση των βιοδεικτών. Οι βιοδείκτες είναι μετρήσιμες φαινοτυπικές παράμετροι που χαρακτηρίζουν την κατάσταση ενός υγιούς ή ασθενούς οργανισμού ή την απάντησή του σε μια συγκεκριμένη θεραπευτική παρέμβαση.

Διάφορες ομάδες έχουν αναφέρει ενδο- καθώς επίσης και εξω-κυτταρική σύνθεση μεταλλικών νανοσωματιδίων χρησιμοποιώντας βακτήρια, μύκητες και ιούς. Αυτή η διαδικασία περιλαμβάνει την αναγωγή των μεταλλικών ιόντων που προστίθενται στα κύτταρα υπό κατάλληλες συνθήκες και την προκύπτουσα εμφάνιση των νανοσωματιδίων ή τα συγκεντρωτικά στοιχεία τους, τόσο εντός όσο και εκτός του ορίου της κυψέλης.

## **5.6 Υλικά για χρήση σε διαγνωστικές και θεραπευτικές Εφαρμογές**

### **5.6.1 Νανοσωματίδια Χρυσού**

Τα Νανοσωματίδια χρυσού είναι εξαιρετικά αποτελεσματικά για κλινικούς διαγνωστικούς σκοπούς που δίνουν ισχυρές υπογραφές στην οπτική απορρόφηση και φασματοσκοπία φθορισμού, την

περίθλαση ακτίνων X και την ηλεκτρική αγωγιμότητα. Επιπροσθέτως, τα νανοσωματίδια χρυσού αλληλεπιδρούν έντονα με βιομόρια που περιέχουν θειόλη ή αμινομάδες και μπορούν να τροποποιηθούν κατάλληλα με έναν αριθμό μικρών μορίων, πρωτεϊνών, DNA και πολυμερών. Τα διάφορα βιομόρια που δεσμεύονται στην επιφάνεια των νανοσωματιδίων χρυσού μπορούν να ανιχνευθούν με τη χρήση διαφόρων αναλυτικών εργαλείων μέτρησης όπως το MALDI-TOF MS και την ομοεστιακή φασματοσκοπία Raman. Ο χρυσός μπορεί να συντεθεί συνήθως σε μεγέθη που κυμαίνονται συνεχώς από 0,8 έως 200 nm με μικρότερη από 10 τοις εκατό του μεγέθους διασπαρσιμότητα ( dispersity ).

Ο χαρακτηρισμός των νανοσωματιδίων χρυσού μπορεί να γίνει με UV-ορατή φασματοσκοπία στην οποία μια επιφανειακή ζώνη πλασμονίου ( surface plasmon band ) εμφανίζεται στο 500-700 nm. Αυτό συμβαίνει λόγω των ηλεκτρονικών ταλαντώσεων στη ζώνη αγωγιμότητας των μετάλλων κατά την έκθεση σε ηλεκτρομαγνητικά κύματα. Το φαινόμενο του συντονισμού της επιφάνειας πλασμονίου συμβαίνει λόγω της αντιστοίχισης της συχνότητας της ταλάντωσης του νέφους ηλεκτρονίων και εκείνη του προσπίπτοντος φωτός. Για νανοσωματίδια χρυσού, η συχνότητα είναι στην ορατή περιοχή η οποία προσδίδει έντονο χρώμα στο διάλυμα νανοσωματιδίων.



### 5.6.2 Κβαντικές τελείες

Οι Κβαντικές τελείες ( ΚΤ ) είναι κρυστάλλοι νανοκλίμακας που δημιουργούνται με υλικά ημιαγωγών. Οι ΚΤ παράγουν ισχυρά ερευνητικά ενδιαφέροντα στον τομέα της βιολογίας λόγω της ιδιότητας φθορισμού τους όταν διεγείρονται από ένα λέιζερ. Η ένταση φθορισμού τους είναι επίσης σημαντικά υψηλότερη και είναι πιο σταθερή σε σύγκριση με συμβατικούς δείκτες φθορισμού. Οι ΚΤ έχουν αρκετά ευρύ φάσμα διέγερσης που μπορεί να συντονίζεται μεταβάλλοντας το φυσικό μέγεθος και τη σύνθεση. Επιπλέον, οι ΚΤ έχουν στενά φάσματα εκπομπής, που σημαίνει ότι είναι δυνατό να επιλυθούν οι εκπομπές των διαφόρων νανοσωματιδίων συγχρόνως και με ελάχιστη επικάλυψη. Τέλος, οι ΚΤ είναι ιδιαίτερα ανθεκτικές σε αποικοδόμηση.

Η τεχνολογία των Κβαντικών Τελειών υπόσχεται πολλά για χρήση με βιομόρια. Οι ΚΤ μπορούν να συνδεθούν ειδικά με μόρια όπως τις πρωτεΐνες και τα νουκλεϊνικά οξέα. Μερικές από τις αξίες που οι ΚΤ μπορούν να προσφέρουν είναι:

1. Είναι εύκολο να διεγείρουν ΚΤ που σημαίνει ότι η πιθανότητα αποικοδόμησης του φαρμάκου λόγω της υψηλής έντασης της δέσμης διέγερσης είναι μειωμένη.
2. Ολόκληρη η δοκιμασία του αίματος μπορεί να γίνει με τη χρήση των ΚΤ, επειδή μπορούν να εκπέμπουν φως σε ολόκληρο το ηλεκτρομαγνητικό φάσμα.
3. Αυτή η τεχνολογία έχει υψηλή ευαισθησία και είναι εύκολη στη χρήση.
4. Δεν παρουσιάζεται φωτοαποχρωματισμός με τις ΚΤ, ο οποίος είναι

ένας σοβαρός περιορισμός στην περίπτωση των φθορίζουσων βαφών.

Η δυσκολία που εντοπίζεται στις ΚΤ είναι ότι η επιφάνειά τους είναι υδρόφοβη στη φύση της, η οποία καθιστά την αλληλεπίδρασή της με τα μόρια που είναι φιλικά με το νερό, όπως οι πρωτεΐνες και το DNA, εξαιρετικά δύσκολη. Η έρευνα που διεξάγεται, γίνεται για να τροποποιήσει την επιφάνεια των ΚΤ, έτσι ώστε να καταστούν πιο βιοσυμβατά. Για παράδειγμα, μικρού μεγέθους πεπτίδια έχουν χρησιμοποιηθεί για την επίστρωση επιφανειών ΚΤ έτσι ώστε να αλληλεπιδρούν με τα κύτταρα. Μια μοναδική νέα επένδυση έχει αναπτυχθεί για ανόργανα νανοσωματίδια που μπορούν να μεταμφιέσουν τις ΚΤ ως πρωτεΐνες, μια διαδικασία που επιτρέπει στα σωματίδια να λειτουργούν ως ανιχνευτές που μπορούν να διαπεράσουν το κύτταρο και να φωτίζουν μεμονωμένες πρωτεΐνες στο εσωτερικό, δημιουργώντας έτσι τη δυνατότητα για ένα ευρύ φάσμα εφαρμογών, συμπεριλαμβανομένων την απεικόνιση κυττάρων και την κλινική διαγνωστική. Εξαιρετικά φωτοβόλα και σταθερά ΚΤ bioconjugates συνεχώς αξιολογούνται για χρήση στην κυτταρική απεικόνιση, η οποία θα βοηθήσει στην ανάπτυξη καλύτερων εργαλείων για κλινική διαγνωστική. Οι Κβαντικές τελείες, επικαλυμμένες με ένα πολυακρυλικό κάλυμμα και ομοιοπολικά συνδεδεμένες με αντισώματα ή με στρεπταβιδίνη, έχουν χρησιμοποιηθεί για την ανοσοφθορίζουσα επισήμανση των βιοδεικτών του καρκίνου του μαστού HER2 (ανθρώπινο επιδερμικό αυξητικό παράγοντα υποδοχέα 2). Τα πλεονεκτήματα της χρήσης QD είναι ότι διευκολύνει πολύ την ειδική επισήμανση και καθιστά το

σήμα φωτεινότερο και πιο σταθερό από αυτό που λαμβάνεται με τη χρήση συμβατικών δεικτών φθορισμού.

### 5.6.3 Μαγνητικά Νανοσωματίδια

Μία άλλη ειδική κατηγορία των νανοσωματιδίων, η οποία ερευνάται εντατικά για χρήση σε βιολογικά συστήματα είναι τα μαγνητικά νανοσωματίδια. Αυτά τα σωματίδια είναι υπερπαραμαγνητικά, δηλαδή δεν έχουν κανένα μαγνητισμό όταν δεν υφίσταται εφαρμοσμένο πεδίο. Χρησιμοποιούνται για την ανίχνευση των διαφόρων ειδών των βιομορίων. Ερευνητικές προσπάθειες έχουν αποδείξει το δυναμικό των κυτταρικών οργανισμών να συνθέσουν διάφορα μαγνητικά νανοσωματίδια. Όπως τα νανοσωματίδια χρυσού, μπορούν επίσης να χρησιμοποιηθούν για τη διάγνωση του καρκίνου μέσω δύο προσεγγίσεων, όπως αναφέρθηκε στο Κεφάλαιο 5.5. Έχουν αναπτυχθεί μαγνητικές τεχνικές ανοσοδοκιμασίας στις οποίες το μαγνητικό πεδίο που δημιουργείται από τους μαγνητικά επισημασμένους στόχους ανιχνεύεται άμεσα με ένα ευαίσθητο μαγνητόμετρο. Η σύνδεση του αντισώματος στα στοχευόμενα μόρια ή στον οργανισμό που προκαλεί ασθένεια αποτελεί τη βάση πολλών δοκιμών. Τα αντισώματα επισημασμένα με μαγνητικά νανοσωματίδια εκπέμπουν μαγνητικά σήματα σχετικά με την έκθεση σε ένα μαγνητικό πεδίο. Τα αντισώματα δεσμευμένα σε στόχους μπορούν έτσι να προσδιορίζονται ως μη δεσμευμένα αντισώματα που διασπείρονται σε όλες τις κατευθύνσεις και παράγουν όχι καθαρό μαγνητικό σήμα ( no net magnetic signal ). Μια άλλη πρόκληση στη διάγνωση του καρκίνου είναι η ανίχνευση των

κυκλοφορούντων καρκινικών κυττάρων στο αίμα. Οι δοκιμές που βασίζονται στα Μαγνητικά νανοσωματίδια αναπτύσσονται στην οθόνη, κάνουν τη διάγνωση, τη σταδιοποίηση και την παρακολούθηση του καρκίνου βάσει των κυκλοφορούντων καρκινικών κυττάρων στο αίμα.

## 5.7 Μελλοντικές κατευθύνσεις

Τα νανοϋλικά έχουν βρει πρακτική εφαρμογή στον τομέα της ιατρικής διάγνωσης με την κατάλληλη και αποτελεσματική χορήγηση των φαρμακευτικών προϊόντων. Ενώ από τη μία πλευρά, γίνονται προσπάθειες για την ανάπτυξη ακριβών και ευέλικτων βιοδεικτών για διάφορα είδη ασθενειών, από την άλλη πλευρά, η έρευνα οδηγείται συνεχώς στην ανάπτυξη νέων πρωτοκόλλων για τη δημιουργία συνεργειών μεταξύ των βιο-και νανο-συστημάτων. Ωστόσο, υπάρχουν αρκετές άλλες ενδιαφέρουσες προτάσεις για τις πρακτικές εφαρμογές των νανομηχανικών εργαλείων σε τομείς της ιατρικής έρευνας και της κλινικής πρακτικής. Τέτοια νανοεργαλεία ακόμα περιμένουν να κατασκευαστούν, αλλά μπορεί να γίνει πραγματικότητα στο κοντινό μέλλον.

Αναπτύσσονται νεότεροι τρόποι για τη χρήση νανοσυσκευών στον τομέα της κλινικής διαγνωστικής και των θεραπευτικών εφαρμογών. Επί του παρόντος, οι ερευνητικές προσπάθειες κατευθύνονται στην ανάπτυξη κατάλληλων νανο-βιο-συστημάτων, τα οποία μπορούν να αντικαταστήσουν επιτυχώς την ελαττωματική / εσφαλμένη λειτουργία

των κυττάρων σε διάφορα μέρη του σώματος. Γίνονται προσπάθειες για να δημιουργήσουν τεχνητά ερυθρά αιμοσφαίρια, τα οποία θα παρέχουν το οξυγόνο πιο αποτελεσματικά σε σύγκριση με τους φυσικούς τρόπους, θα το παραδίδουν στο ανθρώπινο σώμα και θα παρακολουθούν τη ροή του με τη χρήση onboard νανοαισθητήρων. Ένας onboard νανοϋπολογιστής και πολλοί χημικοί αισθητήρες και αισθητήρες πίεσης θα διευκόλυναν πολύπλοκες συμπεριφορές συσκευών που θα επαναπρογραμματίζονταν με τηλεχειριστήριο από τον ιατρό μέσω εξωτερικά εφαρμοζόμενου ακουστικού σήματος. Ο απώτερος στόχος είναι να αναπτυχθεί ένας ισχυρός μηχανισμός με τον οποίο η θεραπευτική παρέμβαση να είναι σε θέση να εντοπίσει το σημείο της λοίμωξης / διαταραχής, να διαγνώσει το επίπεδο της μόλυνσης, να παραδώσει το φάρμακο σε περίπτωση θεραπευτικής αγωγής που απαιτείται (ή να σκοτώσει τα κύτταρα, εάν είναι απαραίτητο) και εν τω μεταξύ, να παρέχει μεταβολική υποστήριξη στην περίπτωση διαταραχής της λειτουργίας. Γίνονται προσπάθειες να αναπτυχθεί ένα ολοκληρωμένο σύστημα ανάδρασης για θεραπευτική παρέμβαση η οποία θα ενημερώνει συνεχώς τον ιατρό σχετικά με τη δράση του φαρμάκου και ενδεχομένως να καταστεί εφικτό για τον γιατρό να αλλάξει τις κατευθυντήριες γραμμές για την παράδοση των φαρμάκων, όπως αυτός μπορεί να κρίνει καλύτερα για την πιο ακριβή θεραπεία. Τέτοιες συσκευές θα έχουν ένα μικρό υπολογιστή για την ανάλυση των πληροφοριών, αρκετές θέσεις σύνδεσης για τον προσδιορισμό της συγκέντρωσης των ειδικών μορίων, τα μόρια του φαρμάκου για τη θεραπεία και παροχή κάποιου «δηλητηρίου» που θα μπορούσε να κυκλοφορήσει επιλεκτικά. Παρόμοιες μηχανές που είναι εξοπλισμένες με ειδικά «όπλα» θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν

για να αφαιρέσουν τα εμπόδια στο κυκλοφορικό σύστημα ή να εντοπίσουν και να σκοτώσουν τα καρκινικά κύτταρα. Η χρήση αυτών των νανορομπότ θα επιτρέψουν στους ειδικούς ιατρούς να διαπιστώσουν το επίπεδο της μόλυνσης μετά την εξέταση της θέσης του ιστού και τις παραλλαγές στη βιοχημεία και βιομηχανική τους. Κατά συνέπεια, ένας προγραμματιζόμενος αλγόριθμος θα ξεκινούσε τη θεραπευτική παρέμβαση για την ακριβή και αξιόπιστη παράδοση των φαρμάκων.

Αυτά τα βήματα για την επίτευξη του τελικού στόχου για την απόκτηση του ελέγχου σε διάφορα είδη ασθενειών από τις οποίες οι άνθρωποι υποφέρουν, θα περιλαμβάνει μια τρισδιάστατη προσέγγιση, δηλαδή την ανάπτυξη μιας καλύτερης κατανόησης βιολογικών συστημάτων, τη δημιουργία νανοσυστημάτων και την ολοκλήρωση των νανο-βιο συστημάτων. Μπορεί να φαίνεται αδύνατο να αναπτυχθεί ένα είδος νανομηχανής η οποία όταν εγχέεται στο ανθρώπινο σώμα, θα κάνει η ίδια τη διαδικασία της εύρεσης της θέσης της νόσου, θα τη θεραπεύει / θα τη σκοτώνει και θα παρέχει τη μεταβατική ενίσχυση για τη μεταβολική διαδικασία, αλλά μια προσέγγιση βήμα προς βήμα για τη νανο-βιο ολοκλήρωση θα μπορούσε να κάνει αυτήν την περίπτωση πραγματικότητα στο μακρινό μέλλον.

## 5.8 Ερωτήσεις

- Θα πρέπει να χρησιμοποιούνται νανοφάρμακα στη νανοκλίμακα ;  
Πώς μπορεί να γίνει η εφαρμογή τους ;
- Ποια είναι τα συστήματα που χρησιμοποιούνται ;  
Πώς οι νανο-ιδιότητες είναι χρήσιμες;
- Ποιες είναι οι ιδιότητες που είναι χρήσιμες για τις διαγνωστικές εφαρμογές;
- Ποια είναι τα πλεονεκτήματα των μαγνητικών νανοσωματίδιων στη νανοϊατρική;
- Ποιες είναι οι ιδιότητες των ίδιων των νανοσωματιδίων που είναι χρήσιμες για θεραπευτικές εφαρμογές;

## **Κεφάλαιο 6 : Η Νανοβιολογία**

### **6.1 Εισαγωγή**

Με την εξέλιξη της επιστήμης, όλα τα επιστημονικά φαινόμενα έχουν πλέον διεισδύσει στη νανοκλίμακα. Έτσι βλέπουμε ότι η επιστήμη έχει προχωρήσει από το μεγάλο στο μικρό. Η οπτική μικροσκοπία βοήθησε την επιστημονική κοινότητα να εξετάσει φαινόμενα στη μικρομετρική κλίμακα. Αργότερα, η εφεύρεση του ηλεκτρονικού μικροσκοπίου βοήθησε τον επιστήμονα να εξετάσει τα φαινόμενα στη νανομετρική κλίμακα. Λόγω του ηλεκτρονικού περιορισμού των νανο αντικειμένων, οι χημικές και οπτικές ιδιότητες είναι διαφορετικές από εκείνες των μακροσκοπικών αντικειμένων. Καθώς εξετάζουμε τις μορφές της ζωής σε ολοένα και μικρότερες διαστάσεις, καταλήγουμε σε βιολογικά αντικείμενα που συμμετέχουν σε θεμελιώδεις διαδικασίες της ζωής. Τα βασικά μόρια στη βιολογία, όπως το DNA, τα ένζυμα, οι υποδοχείς, τα αντιγόνα, τα αντισώματα και οι φορείς οξυγόνου μπορούν να συμπεριληφθούν στη νανομετρική κλίμακα. Έτσι είναι σαφές ότι όλες οι θεμελιώδεις διαδικασίες στη βιολογία λαμβάνουν χώρα στη διάσταση των 1-100 nm. Η μοριακή αυτο-οργάνωση γύρω από τα νανოსωματίδια, μπορεί να είναι χρήσιμη στην ανάπτυξη των ανιχνευτών για την κατανόηση των θεμελιωδών διαδικασιών της ζωής. Η συνέργεια της επιστήμης των υλικών και της μοριακής βιολογίας έχει δημιουργήσει ένα νέο αντικείμενο που ονομάζεται *Νανοβιολογία*, που συμβολίζει μια εξέλιξη ρηξικέλευθο στην πρόοδο της βιολογίας. Το νέο



αυτό αντικείμενο είναι σε θέση να αποκαλύψει πολλά θεμελιώδη μυστικά των μορφών ζωής.

Η επιστήμη της Νανοβιολογίας έχει προχωρήσει σημαντικά και μπορεί να χωριστεί σε διάφορες ειδικότητες της επιστήμης της ζωής, όπως την κυτταρική βιολογία, τη γονιδιωματική, την ογκολογία, την ανοσολογία, τη διάγνωση, τη στοχευμένη χορήγηση φαρμάκων, κλπ. Η ιδέα της δημιουργίας των υβριδικών συστημάτων των ανόργανων νανοσωματιδίων με βιολογικές ομάδες, βοήθησε να λύσει πολλά τεχνικά προβλήματα στην ιατρική και τις βιοεπιστήμες. Η χρήση των νανοϋλικών, αντί των συμβατικών υλικών, έχει αυξημένη απόδοση, ενώ μειώνεται το κόστος. Έτσι, η υβριδοποίηση των νανο-βιο-τεχνολογιών έχει θέσει τις βάσεις για πολλές νέες μεθοδολογίες, οι οποίες είναι ικανές να επιλύσουν πολλές τεχνικές δυσκολίες στη βιο-ανάλυση. Οι ιδέες και οι καινοτομίες της Νανοβιολογίας μπορούν να επεκταθούν στα σύνορα της βιοτεχνολογίας. Σε αυτό το κεφάλαιο θα συζητήσουμε τις ακόλουθες τέσσερις βασικές πτυχές της Νανοβιολογίας:

1. Αλληλεπιδράσεις μεταξύ των βιομορίων και των επιφανειών νανοσωματιδίων.
2. Βιολογική απεικόνιση χρησιμοποιώντας νανοσωματίδια.
3. Αναλυτικές εφαρμογές της νανοβιολογίας.
4. Ιατρική διάγνωση και στοχευμένη παροχή φαρμάκου.
5. Βιοσύνθεση των νανοϋλικών.

## 6.2 Αλληλεπιδράσεις μεταξύ των βιομορίων και των επιφανειών των Νανοσωματιδίων

Ένας από τους στόχους της Νανοτεχνολογίας είναι η τοποθέτηση των νανοσωματιδίων σε διατάξεις συστοιχιών με την ικανότητα να προσαρμόσουν το μέγεθος και την απόσταση μεταξύ των σωματιδίων. Ενώ η συναρμολόγηση ( assembly ) των νανοσωματιδίων από το διάλυμα εντός των εξαγωνικών συσκευασμένων μονοστρωμάτων και δομών υπερπλεγμάτων σε στερεές επιφάνειες ήταν αρκετά επιτυχής, η ελεγχόμενη συναρμολόγηση των νανοσωματιδίων σε διάλυμα μέχρι σήμερα εξακολουθεί να είναι μία σχετικά ανεξερεύνητη περιοχή. Η κατασκευή των τρισδιάστατων συστοιχιών των νανοσωματιδίων στην υδατική φάση μπορεί να επιτευχθεί με βιοσύζευξη, το φαινόμενο στο οποίο διαμοριακές αλληλεπιδράσεις οδηγούν σε ένωση. Η αλληλεπίδραση των νανοσωματιδίων που λειτουργούν με συζυγή βιομόρια μπορεί να οδηγήσει στο σχηματισμό των επιθυμητών υπερκατασκευών στην υδατική φάση. Τα πρώτα βήματα προς την κατεύθυνση αυτή που οδηγούν στην κατασκευή υβριδικών βιο-νανο διατάξεων, ελήφθησαν από τις ομάδες των Mirkin και Alivisatos, οι οποίοι έδειξαν ότι τα DNA-τροποποιημένα νανοσωματίδια θα μπορούσαν να συναρμολογηθούν σε υπερκατασκευές από την υβριδοποίηση συμπληρωματικών αλληλουχιών βάσεων των επιφανειακών μορίων του DNA. Από μια θεμελιώδη άποψη, ο Mirkin, κ.ά. έχουν χρησιμοποιήσει αυτή τη στρατηγική για την κριτική μελέτη του ρόλου του διαχωρισμού μεταξύ των σωματιδίων και το συνολικό μέγεθος επί των οπτικών ιδιοτήτων του διαλύματος κολλοειδούς χρυσού με τροποποιημένο DNA. Άλλες

αλληλεπιδράσεις όπως η διαδικασία μοριακής αναγνώρισης βιοτίνης-αβιδίνης, ο δεσμός υδρογόνου μεταξύ κατάλληλων τερματικών λειτουργικών ομάδων που δεσμεύονται στην επιφάνεια των νανοσωματιδίων, η ηλεκτροστατική συναρμολόγηση σε πρότυπα DNA και ο έλεγχος ηλεκτροστατικών αλληλεπιδράσεων σταθεροποιώντας τα νανοσωματίδια στην υδατική φάση έχουν χρησιμοποιηθεί για την κατασκευή διάταξης νανοσωματιδίων σε διάλυμα. Ο Sastry, κ.ά. περιέγραψαν την τροποποίηση της επιφάνειας των υδατικών κολλοειδών σωματιδίων αργύρου με το αμινοξύ, την κυστεΐνη και την εγκάρσια σύνδεση των κολλοειδών σωματιδίων σε διάλυμα. Η προσαρμογή των σωματιδίων αργύρου με την κυστεΐνη επιτεύχθηκε με ένα θειολικό δεσμό μεταξύ του αμινοξέος και της επιφάνειας των νανοσωματιδίων. Τα κολλοειδή σωματίδια αργύρου ήταν σταθεροποιημένα ηλεκτροστατικά ιονίζοντας τις ομάδες των καρβοξυλικών οξέων της κυστεΐνης. Το αμινοξύ, κυστεΐνη ( $\text{H}_2\text{N}-\text{CH}(\text{CH}_2\text{SH})-\text{CO}_2\text{H}$ ) παίζει σημαντικό ρόλο στον καθορισμό της τριτοταγούς δομής των πρωτεϊνών μέσω των δισουλφιδικών (κυστίνων) γεφυρών.

### **6.2.1 Επιρροή των ηλεκτροστατικών αλληλεπιδράσεων στη δέσμευση των πρωτεϊνών με Νανοσωματίδια**

Έχει προταθεί κάθε νανοσωματίδιο χρυσού να έχει έναν πυρήνα  $\text{Au}(0)$  και μία επιφάνεια  $\text{Au}(I)$ , σαν αποτέλεσμα της προτιμησιακής απορρόφησης των  $\text{Au}(I)$  ιόντων επί της επιφανείας κατά τη στιγμή του σχηματισμού των νανοσωματιδίων. Ιόντα Κιτρικού άλατος συντονίζουν

τα Au (I) άτομα στην επιφάνεια, με αποτέλεσμα ένα συνολικό αρνητικό φορτίο για κάθε σωματίδιο. Τα νανοσωματίδια είναι ικανά να συνδέονται με αντίθετα φορτισμένα σωματίδια σε υδατικά διαλύματα μέσω ηλεκτροστατικών αλληλεπιδράσεων με βάση τα ιοντικά χαρακτηριστικά των επιφανειών τους. Τα Amphiprotic είδη, όπως πεπτίδια και πρωτεΐνες, έχουν μοναδικά ισοηλεκτρικά σημεία ( $pI$ ). Όταν το  $pH$  ενός δείγματος διαλύματος πρωτεΐνης είναι κάτω από την τιμή του  $pI$  της πρωτεΐνης, τα μόρια πρωτεΐνης έχουν ένα καθαρό θετικό φορτίο. Αυτό σημαίνει ότι με την αύξηση του  $pH$  από 0 έως 14, το μόριο θα φορτίζεται όλο και πιο αρνητικά από την συνακόλουθη αφαίρεση των πρωτονίων. Σε ένα συγκεκριμένο  $pH$ , το μόριο θα έχει ένα καθαρό φορτίο μηδέν. Το σημείο αυτό καλείται ισοηλεκτρικό σημείο ( $pI$ ). Ως εκ τούτου, κάτω από την τιμή  $pI$ , το μόριο είναι θετικά φορτισμένο. Αρνητικά φορτισμένα νανοσωματίδια χρυσού τείνουν να προσελκύουν θετικά φορτισμένα μόρια πρωτεΐνης στις επιφάνειές τους μέσω ηλεκτροστατικών αλληλεπιδράσεων. Από την άλλη πλευρά, αν το  $pH$  ενός διαλύματος πρωτεΐνης είναι πάνω από την τιμή του  $pI$  της πρωτεΐνης αυτής, τα μόρια πρωτεΐνης είναι αρνητικά φορτισμένα και απωθούν οποιαδήποτε αρνητικά φορτισμένα χρυσά νανοσωματίδια. Όσον αφορά τη φύση της αλληλεπίδρασης του βιομορίου και του νανοσωματιδίου, είναι σαφές ότι αλληλεπιδρούν με ηλεκτροστατική έλξη.

Έτσι, εξετάζοντας την έλξη μεταξύ δύο αντίθετων φορτίων, Ηλεκτροστατική δύναμη  $F = ( kq_+q_- / r^2 )$ , όπου  $F$  είναι η δύναμη σε Newton και  $k = 8.9874 \times 10^9 \text{ Nm}^2\text{C}^{-2}$ ,  $r$  είναι η απόσταση σε μέτρα (  $m$  ),  $q_+$  και  $q_-$  είναι τα θετικά και αρνητικά φορτία σε Coulomb (  $C$  ), αντιστοίχως. Για λόγους απλότητας μπορούμε να θεωρήσουμε,  $r$  και  $q_-$

( το φορτίο στην επιφάνεια των νανοσωματιδίων ) είναι σταθερές. Έτσι, η ηλεκτροστατική δύναμη μεταξύ του βιομορίου και του νανοσωματιδίου,  $F$  α  $q_+$  δηλαδή η ηλεκτροστατική δύναμη είναι ανάλογη με το καθαρό φορτίο επί του βιομορίου ( $q_+$ ).

Από την παραπάνω εξίσωση, είναι σαφές ότι η  $\rho I$  είναι ο βασικός παράγοντας στην ένωση του βιομορίου με το νανοσωματιδίο. Πάνω από την τιμή  $\rho I$ , δεν υπάρχει έλξη μεταξύ του βιομορίου και του νανοσωματιδίου επειδή το βιομόριο φορτίζεται αρνητικά. Η επιλεκτική δέσμευση των πρωτεϊνών στην επιφάνεια των νανοσωματιδίων ως μια συνάρτηση του  $pH$  αποκαλύπτεται κάνοντας χρήση διαφόρων οπτικών μεθόδων με τη χρήση ακτινοβολίας laser matrix-assisted laser desorption mass spectrometry ( MALDI-TOF MS ). Οι τιμές  $\rho I$  των πρωτεϊνών, κυτόχρωμα  $c$  και μυοσφαιρίνη είναι 10.6 και 7, αντίστοιχα. Η απουσία της προσρόφησης των πρωτεϊνών, κυτόχρωμα  $c$  και της μυοσφαιρίνης στην επιφάνεια των χρυσών νανοσωματιδίων πάνω από την αξία τους  $\rho I$  αναφέρεται από τον Teng κ.ά.

## 6.2.2 Τα ηλεκτρονικά αποτελέσματα της αλληλεπίδρασης

### Βιομορίου – Νανοσωματιδίου

Όταν ένα βιομόριο αλληλεπιδρά με την επιφάνεια ενός νανοσωματιδίου ευγενούς μετάλλου, η πυκνότητα του επιφανειακού φορτίου του παραμορφώνεται από την ηλεκτροστατική έλξη. Η έκταση της παραμόρφωσης της πυκνότητας του φορτίου επιφανείας εξαρτάται από τους ακόλουθους παράγοντες:

1. Το μέγεθος του νανοσωματιδίου του ευγενούς μετάλλου
2. Τη μοριακή διάμετρο του βιομορίου
3. Το pH του μέσου
4. Την ιοντική ισχύ του μέσου

Ως αποτέλεσμα της αλληλεπίδρασης, η επιφανειακή πυκνότητα φορτίου τόσο του νανοσωματιδίου όσο και του βιομορίου διαταράσσεται. Αυτή η διατάραξη της πυκνότητας επιφάνειας του ηλεκτρονίου ( surface electron density ) εκδηλώνεται στην αλλαγή του ηλεκτρονικού φάσματος τόσο του νανοσωματιδίου όσο και του βιομορίου. Οι λειτουργικές ομάδες των μορίων, τα οποία βρίσκονται κοντά στην περιοχή της επιφάνειας του νανοσωματιδίου, διαταράσσονται περισσότερο. Η ένωση του βιομορίου μπορεί να επηρεάσει το συντονισμό των επιφανειακών πλασμονίων του νανοσωματιδίου. Μερικές φορές, αυτή η αλληλεπίδραση μπορεί να εκδηλωθεί στις διατάξεις των νανοσωματιδίων και των βιομορίων. Η επιφανειακή πυκνότητα των ηλεκτρονίων του νανοσωματιδίου είναι σφαιρικά συμμετρική. Η διαταραχή της πυκνότητας του φορτίου του νανοσωματιδίου που προκαλείται από την αλληλεπίδραση με το βιομόριο είναι ισοτροπική. Αλλά στην περίπτωση των νανοράβδων ευγενών μετάλλων, η πυκνότητα φορτίου τους είναι ανισότροπη. Έτσι, η αλληλεπίδραση με το βιομόριο μπορεί να οδηγήσει σε ανισότροπη διατάραξη της πυκνότητας των ηλεκτρονίων των νανοράβδων. Η διαφορά στην αλληλεπίδραση του βιομορίου στη νανοράβδο και στο νανοσωματίδιο φαίνεται στο UV-ορατό φάσμα. Ο συντονισμός επιφανειακού πλασμονίου (SPR) των νανοσωματιδίων ευγενών μετάλλων οφείλεται σε πολωμένη ταλάντωση του ηλεκτρονικού

νέφους, που προκαλείται από το ηλεκτρικό διάνυσμα του ηλεκτρομαγνητικού κύματος σύμφωνα με τη θεωρία του Mie. Αυτό το φαινόμενο είναι ιδιαίτερα ευαίσθητο στην διηλεκτρική σταθερά του μικροπεριβάλλοντος γύρω από το νανοσωματίδιο. Έτσι, μία τέτοια αλληλεπίδραση με ένα βιομόριο μπορεί να εκδηλωθεί με μορφή αλλοιώσεων στη ζώνη SPR. Η μοριακή διάμετρος ενός βιομορίου είναι ένας βασικός παράγοντας που ορίζει την αλληλεπίδραση βιομορίου-νανοσωματιδίου. Τα μεγαλύτερα μόρια θα αποτελέσουν σταθερά νανο-βιο συμπλέγματα. Θα σχηματίσουν πιο παχιά κελύφη πάνω από την επιφάνεια του νανοσωματιδίου. Τέτοιο σχηματισμό κελύφους μπορεί να αποτρέψει η συσσωμάτωση των νανοσωματιδίων. Ως παράδειγμα μπορούμε να θεωρήσουμε την αλληλεπίδραση μεταξύ ενός αντιβιοτικού βανκομυκίνης και ενός νανοσωματιδίου χρυσού. Οι αλλαγές στη ζώνη SPR του νανοσωματιδίου και η διάσταση του αλληλεπιδρώντος μορίου σχετίζονται άμεσα.

### **6.3 Διαφορετικοί τύποι ανόργανων υλικών που χρησιμοποιούνται για τη σύνθεση υβριδικών Νανο-βιο διατάξεων**

#### **6.3.1 Υλικά από ευγενές μέταλλο**

Κανονικά τα νανοϋλικά κατασκευασμένα από ασήμι και χρυσό χρησιμοποιούνται για βιολογικές εφαρμογές. Υπάρχουν διάφοροι τύποι νανοϋλικών ευγενών μετάλλων, όπως ευγενή μεταλλικά

νανοσωματίδια, νανοράβδοι, μεταλλικά νανοκελύφη, νανοκλουβιά, κλπ. Τα Νανοκελύφη αποτελούν μία νέα κατηγορία από οπτικά ρυθμιζόμενα νανοσωματίδια που αποτελούνται από έναν διηλεκτρικό πυρήνα που περιβάλλεται από ένα λεπτό χρυσό κέλυφος. Τα αντισώματα μπορούν να ακινητοποιηθούν στην επιφάνεια χρυσού των νανοκελύφων. Οι επιφάνειες χρυσού των νανοκελύφων θεωρούνται βιοσυμβατές και πολυμερή, όπως η πολυαιθυλενογλυκόλη ( PEG ) μπορεί να προσαρτηθεί σε επιφάνειες νανοκελύφων για να ενισχύσει περαιτέρω τη βιοσυμβατότητα και να βελτιώνουν την κυκλοφορία του αίματος. Ασημένια και χρυσά νανοσωματίδια χρησιμοποιούνται ως ενδοκυτταρικοί SERS ( surface-enhanced Raman scattering ) ανιχνευτές. Τα πλεονεκτήματα των νανοσωματιδίων ευγενών μετάλλων είναι ότι προσφέρουν ή / και λειτουργούν, όπως:

1. Ιδανικό για ανοσο ετικέτες ( immuno labels ) για μετάδοση ηλεκτρονικής μικροσκοπίας.
2. Αποτελεσματικοί παράγοντες αντίθεσης για οπτική μικροσκοπία.
3. Ισχυροί ενισχυτές της σκέδασης Raman ανιχνευτές ( SERS ).
4. Αδρανή σε φυσιολογικές συνθήκες.
5. Περισσότερα βιοσυμβατά νανοϋλικά.
6. Ιδανικά συστήματα για την ακινητοποίηση βιομορίων.



### 6.3.2 Ημιαγώγιμοι Νανοκρύσταλλοι ( Κβαντικές Τελείες )

Οι κβαντικές τελείες είναι μικροί (<10 nm) ανόργανοι νανοκρύσταλλοι που διαθέτουν μοναδικές οπτικές ιδιότητες, η εκπομπή φθορισμού τους είναι σταθερή και μπορεί να ρυθμιστεί μεταβάλλοντας το μέγεθος των σωματιδίων ή τη σύνθεση. Οι κβαντικές τελείες αποτελούνται γενικά από άτομα των ομάδων ΙΙΒ-VI ή ΙΙΙ-V του περιοδικού πίνακα και ορίζονται ως σωματίδια με φυσικές διαστάσεις μικρότερες από το εξιτόνιο ακτίνας Bohr. Αυτό το μέγεθος οδηγεί σε μία quantum confinement effect, η οποία προσδίδει νανοκρυστάλλους με μοναδικές οπτικές και ηλεκτρονικές ιδιότητες. Οι Ημιαγώγιμοι Νανοκρύσταλλοι μπορούν να καλυφθούν με αδρανή οξείδια ή σουλφίδια και μπορούν να συνδεθούν με ένα βιομόριο με μια συγκεκριμένη λειτουργία. Τα κυριότερα χαρακτηριστικά των ημιαγώγιμων νανοκρυστάλλων έχουν ως εξής:

1. Εκπομπή που καθορίζεται από το μέγεθος ( από την υπεριώδη στο IR) των κβαντικών τελειών.
2. Στενά πλάτη φασματικών γραμμών.
3. Υψηλή φωτεινότητα.
4. Συνεχή προφίλ απορρόφησης.
5. Σταθερότητα ενάντια photobleaching.
6. Ιδανικές ανοσο-ετικέτες ( immune-labels ) για in vitro και in vivo απεικόνιση φθορισμού.

### 6.3.3 Μαγνητικά Νανοσωματίδια

Το φαινόμενο του μαγνητισμού έχει λάβει ιδιαίτερη προσοχή στον τομέα των βιοεπιστημών και της ιατρικής. Οι ενδοκυτταρικοί σιδηρομαγνητικοί νανοκρύσταλλοι του greigite ( $\text{Fe}_3\text{S}_4$ ) μαγνητίτη ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ) έχουν βρεθεί σε μαγνητοστατικά βακτήρια. Αυτοί οι σιδηρομαγνητικοί νανοκρύσταλλοι ευθυγραμμίζονται με γραμμικό τρόπο με το ενδοκυτταρικό τμήμα που ονομάζεται «magnetosome», το οποίο βοηθά τα βακτήρια στην ευθυγράμμισή τους και την παράλληλη κίνηση προς το γήινο μαγνητικό πεδίο. Μια ποικιλία από αξιόλογες εφαρμογές στη βιολογία, όπως στον τομέα των βιοαισθητήρων, η μαγνητική τομογραφία, η χορήγηση φαρμάκων και η μαγνητική υπερθερμία ρευστού μπορούν να επιτευχθούν με τη συνέργεια των μαγνητικών νανοκρυστάλλων και των βιομορίων. Οι μαγνητικοί νανοκρύσταλλοι είναι συμβατοί στο μέγεθος, αρκετά αρμόδιοι για να δια-συνδέονται με βιολογικές οντότητες, ανιχνεύσιμοι σε ένα εφαρμοζόμενο μαγνητικό πεδίο και ικανοί να μεταφέρουν ενέργεια από ένα εναλλασσόμενο μαγνητικό πεδίο. Τα μαγνητικά νανοϋλικά έχουν μια ποικιλία εφαρμογών όπως:

1. Πρωτεομική ( Proteomics )
2. Μοριακή βιολογία κυττάρων
3. Ιατρική επιστήμη
4. Αναλυτική Βιοχημεία
5. Κλινική διάγνωση
6. Μικροβιολογία
7. Ανοσολογία

8. Βιοτεχνολογία

9. Στοχευμένη χορήγηση φαρμάκων

#### **6.4 Εφαρμογές της Νανοτεχνολογίας στη Βιολογία**

Η ακριβής και ευαίσθητη ανίχνευση των υδατοδιαλυτών αναλυτών όπως τοξίνες, υδατάνθρακες, ιοντικά είδη και διάφορα βιομόρια συμπεριλαμβανομένου του DNA των πρωτεϊνών και των πεπτιδίων, είναι ένας περιζήτητος επιστημονικός στόχος με επιπτώσεις στον τομέα της υγείας και των βιομηχανικών εφαρμογών. Η αλληλεπίδραση ενός στοχευμένου μορίου με έναν πρωτεϊνικό υποδοχέα σε μία διαδικασία βιολογικής αναγνώρισης συνδέεται συχνά με μια αλλαγή στην πρωτεϊνική χωροδιάταξη ως απάντηση στη δεσμευτική εκδήλωση. Πολλοί επιστήμονες δίνουν έμφαση στο σχεδιασμό και την ανάπτυξη βασισμένων στην αναγνώριση διατάξεων ανίχνευσης που μπορούν να ευθύνονται για τέτοιες αλλαγές μέσω μεταγωγής σήματος σε ένα μέσο ενδιαφέροντος. Η παραπάνω μονάδα μας οδηγεί στο βασικό ζήτημα που αφορά την κατασκευή των υβριδικών νανο-βιο συστημάτων. Κατ' αρχάς, θα πρέπει να σκεφτούμε ανόργανα νανοσωματίδια σε υδατικό μέσο. Αυτά τα νανοσωματίδια έχουν είτε ένα θετικό ή ένα αρνητικό φορτίο στην επιφάνειά τους, ανάλογα με τη μέθοδο παρασκευής τους. Η πλειοψηφία των βιομορίων έχει ηλεκτροστατικό φορτίο λόγω της παρουσίας όξινων και βασικών λειτουργικών ομάδων. Έτσι η ηλεκτροστατική αυτο-συναρμολόγηση των βιομορίων γύρω από το νανοσωματίδιο μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την κατασκευή υβριδικών νανο-βιο συστημάτων. Ένα άλλο πρωτόκολλο που

χρησιμοποιείται για την κατασκευή των διατάξεων είναι η ακινητοποίηση των βιομορίων πάνω από την επιφάνεια των ανόργανων νανοσωματιδίων με τη χρήση ομοιοπολικού δεσμού με τη βοήθεια ενός μορίου αγκίστρωσης ( anchor molecule ). Και οι δύο μεθοδολογίες μπορούν να χρησιμοποιηθούν σύμφωνα με την απαίτηση της επιθυμητής εφαρμογής. Οι τακτικές που χρησιμοποιούνται στην κατασκευή των νανοκαθετήρων για ένα συγκεκριμένο σκοπό μπορεί να υιοθετηθεί από τη λογική της βιο-σύζευξης. Αυτό σημαίνει ότι χρησιμοποιούμε την αρχή των μοριακών αλληλεπιδράσεων στην κατασκευή των νανοκαθετήρων. Η ακινητοποίηση της μοριακής σύζευξης του στοχευμένου μορίου στην επιφάνεια των νανοσωματιδίων είναι το πιο αποδοτικό πρωτόκολλο. Για παράδειγμα, τα υβριδικά συστήματα αντισωμάτων - νανοσωματιδίων μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την ανίχνευση των αντιγόνων και το αντίστροφο. Τέτοιοι νανοκαθετήρες είναι τώρα διαθέσιμοι στην αγορά. Το είδος των νανοκαθετήρων που χρησιμοποιούνται για την οπτική μικροσκοπία εξαρτάται από τη φύση της τεχνικής. Για παράδειγμα, οι κβαντικές τελείες ημιαγωγών που χρησιμοποιούνται για συνεστιακή μικροσκοπία φθορισμού βιολογικών δειγμάτων, ενώ τα ευγενή μεταλλικά νανοσωματίδια χρησιμοποιούνται για τη μετάδοση μικροσκοπίας ηλεκτρονίων των βιολογικών δειγμάτων. Ανάμεσα στα μεταλλικά νανοσωματίδια, τα νανοσωματίδια χρυσού χρησιμοποιούνται ευρέως λόγω των μοναδικών ιδιοτήτων τους, όπως ισχυρή οπτική απορρόφηση, χημική αδράνεια και ευκολία λειτουργικότητας της επιφάνειας. Τα ανόργανα νανοσωματίδια, όπως τα νανοσωματίδια ευγενών μετάλλων, τα νανοσωματίδια του μαγνητικού μεταλλικού οξειδίου και οι νανοκρύσταλλοι ημιαγωγών χρησιμοποιούνται για βιο-σύζευξη.

Έχουν χρησιμοποιηθεί περαιτέρω σε διαφορετικές αναλυτικές εφαρμογές. Σε κανονικά πρωτόκολλα, ένα αντίσωμα ενός βιολογικά σημαντικού μορίου ακινητοποιείται στην επιφάνεια του νανοσωματιδίου που, με τη σειρά του, χρησιμοποιείται για εφαρμογές όπως μοριακή ανίχνευση, στοχευμένη παράδοση φαρμάκων και βιολογική απεικόνιση. Οι μελέτες της τηλεπισκόπησης με τη χρήση Fluorescence Resonance Energy Transfer ( FRET ) μεταξύ ενός φθορίζοντος μορίου δότη, που συνδέεται με το στόχο και ενός δέκτη, που συνδέεται με έναν υποδοχέα πρωτεΐνης, έχουν χρησιμοποιηθεί ευρέως για τη μελέτη των αλληλεπιδράσεων υποδοχέα-συνδέτη και τις αλλαγές στη χωροδιάταξη της πρωτεΐνης μετά την σύνδεση με έναν στοχευμένο αναλυτή. Επίσης, έχει χρησιμοποιηθεί για να μελετηθούν οι αλλαγές στις συνθήκες διαλύματος ( π.χ., θερμοκρασία, συνθήκες pH, κλπ. ). Η FRET είναι εξαιρετικά ευαίσθητη στην απόσταση διαχωρισμού μεταξύ του δότη και του δέκτη και είναι ιδανική για τη διερεύνηση τέτοιων βιολογικών φαινομένων. Η διασύνδεση των βιολογικών συστημάτων και ανόργανων νανοϋλικών έχει πρόσφατα προσελκύσει το ενδιαφέρον της βιολογίας και της ιατρικής. Τα νανοσωματίδια πιστεύεται ότι έχουν δυνατότητες ως νέοι ενδοαγγειακοί ανιχνευτές τόσο για διάγνωση ( π.χ. απεικόνιση ) όσο και για θεραπευτικούς σκοπούς ( π.χ. χορήγηση φαρμάκου ).

### 6.4.1 Βιολογική Απεικόνιση Χρησιμοποιώντας

#### Νανοκρυστάλλους Ημιαγωγών

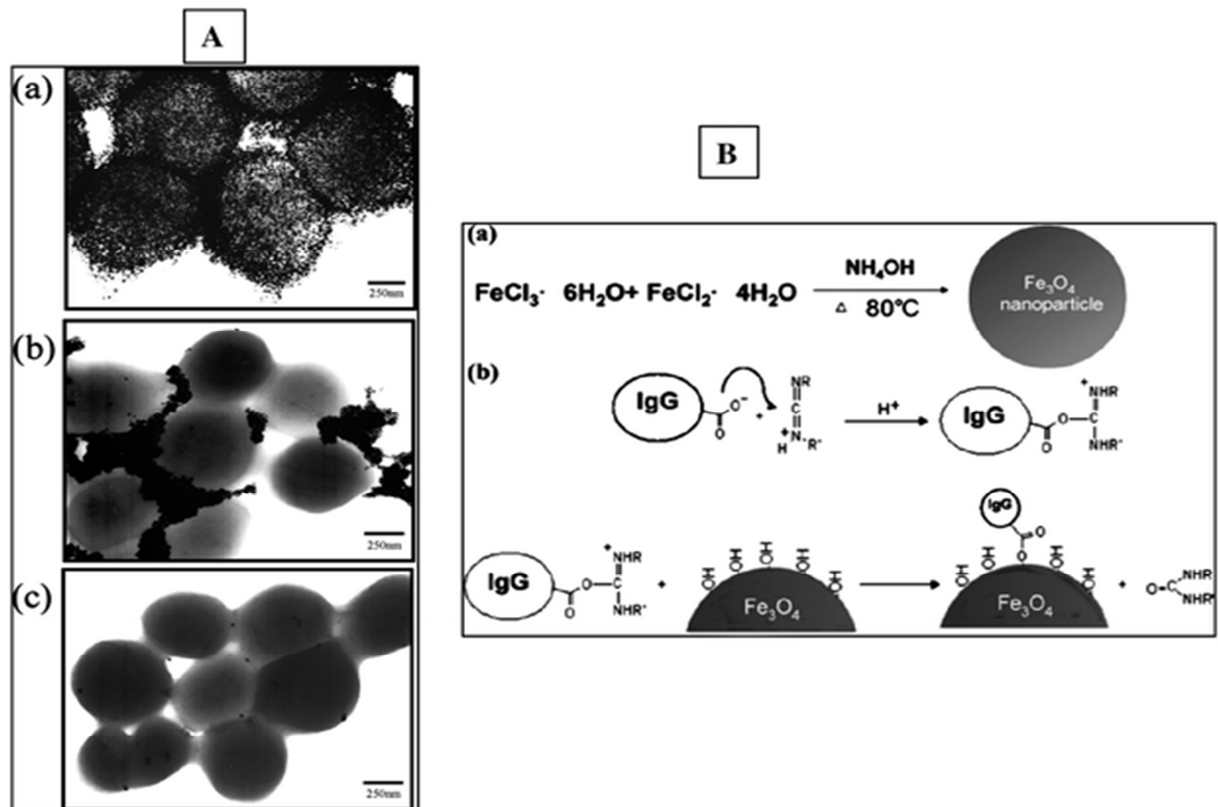
Η *in vivo* στόχευση χρησιμοποιώντας κβαντικές τελείες ημιαγωγών έχει αποδειχθεί ότι είναι ιδιαίτερα εφικτή, όπως διαπιστώθηκε από τον Akerman, κ.ά. Βρέθηκε ότι οι ZnS-capped CdSe κβαντικές τελείες επικαλυμμένες με ένα στοχευμένο πεπτίδιο συσσωρεύονται στους πνεύμονες των ποντικών μετά την ένεση, ενώ δύο άλλα πεπτίδια κατευθύνουν ειδικά τις κβαντικές τελείες στα αιμοφόρα αγγεία ή λεμφικά αγγεία στους όγκους. Θεωρήθηκε επίσης ότι για την προσθήκη γλυκόλης πολυαιθυλενίου στην κβαντική τελεία, η επίστρωση αποτρέπει τη μη επιλεκτική συσσώρευση των κβαντικών τελειών σε δικτυοενδοθηλιακούς ιστούς. Τα αποτελέσματα αυτά ενθαρρύνουν την κατασκευή των πιο πολύπλοκων νανοδομών με δυνατότητες, όπως αισθητήρες νόσου και παροχής φαρμάκου. Οι ZnS-capped CdSe κβαντικές τελείες που εκπέμπουν στο πράσινο και το κόκκινο (550 nm και 625 nm φθορισμό *maxima*, αντιστοίχως) επικαλύφθηκαν με πεπτίδια με τη χρήση μίας αντίδρασης ανταλλαγής θειόλης. Αυτές οι επικαλυμμένες με πεπτίδιο κβαντικές τελείες εγχύθηκαν εντός της φλέβας της ουράς ενός ποντικού και αφέθηκαν στην κυκλοφορία για μια δεδομένη χρονική στιγμή. Τότε καταψύχθηκαν, τεμαχίστηκαν και εξετάστηκαν υπό ένα ανεστραμμένο μικροσκόπιο φθορισμού ή ομοεστιακό μικροσκόπιο. Η χρήση των πεπτιδίων να στοχεύουν τη μεταφορά νανοδομών φαρμάκων, όπως αυτά που αποτελούνται από δενδριμερή ή σταθεροποιημένους νανοκρυστάλλους φαρμάκων, είναι επίσης πιθανή.

### 6.4.2 Απεικόνιση ανοσολογικού φθορισμού βιοδεικτών

Μία κρίσιμη απαίτηση στη μοριακή βιολογία κυττάρων είναι ο εντοπισμός των ειδικών βιομορίων στα κύτταρα και στους ιστούς. Η επισήμανση ανοσο-φθορισμού ( immuno-fluorescent labeling ) είναι η τυπική προσέγγιση, αλλά η απεικόνιση με βάση το φθορισμό είναι περιορισμένη στη χωρική ανάλυση από το μήκος κύματος του φωτός. Ως εκ τούτου, η εφαρμογή της μικροσκοπίας μετάδοσης ηλεκτρονίου ( TEM ), σε συνδυασμό με την immuno-labeling έχει αποδειχθεί ότι παρουσιάζει πολλά πλεονεκτήματα για την υψηλή ανάλυση δομών. Η διαδεδομένη στρατηγική για τον ανοσο-εντοπισμό μέσω TEM είναι να χρησιμοποιεί αντισώματα συζευγμένα με κολλοειδή χρυσό διαφόρων διαστάσεων. Η πρόσφατη ανάπτυξη της φωταύγειας ημιαγωγικών νανοκρυστάλλων, επίσης γνωστή ως κβαντικές τελείες (KT), για την ανοσο-ανίχνευση αυξάνει την πιθανότητα της χρήσης τους ως ανιχνευτές. Για παράδειγμα, μπορούμε να θεωρήσουμε στόχο την επιλεκτική βαφή χρησιμοποιώντας CdSe@ZnS@PEG core shell κβαντικές τελείες. Αυτή η κβαντική τελεία είναι κόκκινης εκπομπής και η διαλυτότητά της μπορεί να αυξηθεί με κάλυψη με PEG (πολυαιθυλενογλυκόλη). Μπορούμε να χαρακτηρίσουμε αυτές τις κβαντικές τελείες, όπως QD-PEG και QD-PSMA για το ένα χωρίς και με αγκύρωση του αντισώματος, αντιστοίχως.

### 6.4.3 Επισήμανση ανοσο-χρυσού ( Immunogold labeling )

Ο όρος “immunogold” υποδηλώνει ένα immuno-targeted χρυσό νανοσωματίδιο, το οποίο ενεργοποιείται με ένα αντισώμα ενός ειδικού βιομορίου ενδιαφέροντος. Σε αυτό το πρωτόκολλο, τα νανοσωματίδια χρυσού χρησιμοποιούνται ως ετικέτες για την απεικόνιση των κυτταρικών γραμμών και των ιστών. Τα χρυσά νανοσωματίδια ανοσοσφαιρίνης G-capped χρησιμοποιούνται για την απεικόνιση των παθογόνων οργανισμών όπως *Staphylococcus aureus*, *Staphylococcus pyrogenes* και *Staphylococcus saprophyticus*. Το Ig G μπορεί να δεσμεύσει ειδικά τα παθογόνα ( pathogens ) που δημιουργούνται από τα βακτήρια. Έτσι τα Ig G-capped νανοσωματίδια χρυσού χρησιμοποιούνται ειδικά για την επισήμανση των βακτηρίων.



Σχήμα 6.1



*TEM εικόνες του Staphylococcus saprophyticus που λαμβάνονται μετά από την επώαση αυτών των βακτηρίων με: [A] (a) Au-IgG νανοσωματίδια, (b) μη τροποποιημένα νανοσωματίδια χρυσού και (c) Au-BSA νανοσωματίδια. ( Πηγή : JEM Spotlight: Applications of advanced nanomaterials for environmental monitoring, 06 Nov 2008, pubs.rsc.org )*

Το Σχήμα 6.1 απεικονίζει μία εικόνα TEM της επιλεκτικής αλληλεπίδρασης της Ανοσοσφαιρίνης G-capped χρυσών νανοσωματίδιων στο βακτήριο, *Staphylococcus saprophyticus*. Από το Σχήμα. 6.1, φαίνεται ότι τα στοχοθετημένα χρυσά νανοσωματίδια μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την ανοσο-στοχευμένη απεικόνιση των βακτηρίων. Το Σχήμα 6.1 [A] (α) αντιπροσωπεύει την επιλεκτική δέσμευση του Ig G-capped νανοσωματίδιου χρυσού. Δεν υπάρχει καμία επισήμανση, όταν το κιτρικό είναι καλυμμένο [ Εικ. 6.1 (b) ] και BSA-capped [ Εικ. 6.1 (c) ] είναι νανοσωματίδια χρυσού που χρησιμοποιούνται. Τα νανοσωματίδια χρυσού έχουν μια καλή οπτική απορρόφηση στην ορατή περιοχή. Έτσι μπορούν επίσης να χρησιμοποιηθούν για οπτική μικροσκοπία. Πολλές εταιρείες πωλούν immunogold ανιχνευτές στην αγορά.

#### **6.4.4 Διαγνωστικές Εφαρμογές των ανοσο-στοχευμένων Νανοσωματιδίων**

Μία από τις σημαντικότερες εφαρμογές της immunogold επισήμανσης είναι ότι διευκολύνει την έγκαιρη ανίχνευση του καρκίνου. Χρυσά νανοσωματίδια-αντισώματα βιοσυζυγή χρησιμοποιούνται για την ζωτική απεικόνιση των εναιωρημάτων καρκινικών κυττάρων του τραχήλου της μήτρας καθώς και για τις τραχηλικές βιοψίες. Η αρχή που εφαρμόζεται για την απεικόνιση των προ-καρκινικών ιστών με απεικόνιση δια της ανάκλασης βασίζεται στην προσκόλληση των νανοσωματιδίων χρυσού για την ανίχνευση μορίων με υψηλή συγγένεια για συγκεκριμένους κυτταρικούς βιοδείκτες. Τα χρυσά νανοσωματίδια-αντισώματα βιοσυζυγή μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως ζωτικής σημασίας παράγοντες ανάκλασης για την *in vivo* απεικόνιση των καρκινικών επηρεασμένων τμημάτων για σάρωση με λέιζερ συνεστιακής ανάκλασης μικροσκοπίας. Σε καρκινικά κύτταρα του τραχήλου της μήτρας, ο υποδοχέας του επιδερμικού αυξητικού παράγοντα ( epidermal growth factor receptor EGFR) είναι υπερ-εκφρασμένος. Η στοχευμένη επιλεκτική απεικόνιση των καρκινικών κυττάρων του τραχήλου της μήτρας ( SiHa ) έγινε με τη χρήση χρυσών νανοσωματιδίων μεγέθους 70nm αγκιστρωμένα με μονοκλωνικά αντισώματα εναντίον EGFR. Ο μηχανισμός των νανοσωματιδίων βαφής είναι παρόμοιος με εκείνον που παρατίθεται στα προηγούμενα παραδείγματα. Η μεθοδολογία αυτή, μπορεί να προσφέρει μια φθηνότερη τεχνολογία για την έγκαιρη διάγνωση του καρκίνου για τους ανθρώπους στις χώρες του Τρίτου Κόσμου.

### **6.4.5 Στοχευμένη χορήγηση φαρμάκων χρησιμοποιώντας νανοσωματίδια**

Εξ ορισμού, η στοχευμένη παροχή φαρμάκου συνεπάγεται την αργή και επιλεκτική απελευθέρωση των φαρμάκων στα στοχευόμενα όργανα. Τα νανοσωματίδια είναι 100 - 1000 φορές μικρότερα από τα ανθρώπινα κύτταρα. Ένα φάρμακο που μεταφέρει μαγνητικό νανοκρύσταλλο ή ένα φάρμακο που μεταφέρει σωματίδιο φθορισμού μπορεί να συντεθεί. Μπορούμε να κατασκευάσουμε το επιθυμητό νανο-μεγέθους όχημα για την παράδοση των φαρμάκων με τις απαιτούμενες ιδιότητες. Δύο διαφορετικά είδη νανοϋλικών χρησιμοποιούνται για την παράδοση των φαρμακευτικών εφαρμογών. Το ένα είδος είναι οργανικό, ενώ το άλλο αποτελεί οργανο-ανόργανα υβριδικά συστήματα. Κάθε είδος οχήματος έχει τα δικά του πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα. Το σημείο κλειδί στην κατασκευή ενός τέτοιου οχήματος έχει σχέση με τον τρόπο χρήσης, δηλαδή αν πρόκειται να χορηγείται από το στόμα ή με ένεση απ' ευθείας στο αίμα. Ένα όχημα παροχής φαρμάκου θα πρέπει να είναι χημικά σταθερό στις θέσεις στις οποίες μεταφέρεται. Έτσι, τα βασικά στοιχεία για την εν λόγω κατασκευή είναι τα εξής:

1. Έλλειψη κυτταροτοξικότητας
2. Απουσία παρενεργειών
3. Χημική σταθερότητα στις θέσεις που μεταφέρεται
4. Επιλεκτικός στόχος ( Target Selectivity )
5. Καλή απόδοση
6. Κόστος-αποτελεσματικότητα.

## 6.5 Νανοανιχνευτές για αναλυτικές εφαρμογές, μια νέα

### Μεθοδολογία στην Ιατρική Διάγνωση και Βιοτεχνολογία

Αρκετοί ανιχνευτές έχουν χρησιμοποιηθεί κατά τη διάρκεια των τελευταίων δεκαετιών για την κατανόηση των μηχανισμών των βιολογικών διεργασιών. Οι ανιχνευτές είναι συνήθως μοριακοί στη φύση, οι οποίοι είτε ενσωματώνονται με μια φθορίζουσα ετικέτα ή επισημαίνονται με ένα ραδιενεργό ισότοπο. Για να κατανοήσουμε τη βιολογική δράση ενός στοχευμένου μορίου, το ίδιο το μόριο επισημαίνεται είτε με μια φθορίζουσα ετικέτα ή ένα ραδιενεργό ισότοπο και εγχέεται στο βιολογικό σύστημα για τον εντοπισμό της διαδρομής του μορίου ενδιαφέροντος. Ως αποτέλεσμα των κακοηθειών ή μόλυνσεων στα βιολογικά συστήματα, κάποιες από τις πρωτεΐνες υπερ-εκφράζονται. Αυτές οι υπερ-εκφρασμένες πρωτεΐνες ονομάζονται “Βιοδείκτες” για κάθε κακοήθεια ή διαταραχή. Το αντίσωμα του βιοδείκτη χρησιμοποιείται ως μοριακός ανιχνευτής με τις κατάλληλες ετικέτες. Όπως περιγράφηκε προηγουμένως, τα ανόργανα νανοσωματίδια εμφανίζουν συμβατότητα μεγέθους και έχουν εξαιρετικές οπτικές δυνατότητες στην ορατή περιοχή. Η τάση της χρήσης νανοσωματιδίων για την ανίχνευση βιολογικών διεργασιών είναι πολύ πρόσφατη. Τα νανοσωματίδια που εμφανίζουν διαφορετικές ιδιότητες, όπως σκέδαση φωτός, φθορισμό ή μαγνητισμό χρησιμοποιούνται για συγκεκριμένες εφαρμογές. Σιδηρομαγνητικά Au-Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> νανοςύνθετα σωματίδια χρησιμοποιήθηκαν ως ανιχνευτές προσυγκέντρωσης για πεπτίδια σε εξαιρετικά χαμηλές συγκεντρώσεις ( 10<sup>-8</sup>-10<sup>-7</sup> M ), οι οποίες σχηματίστηκαν με την πέψη του κυτοχρώματος c από τα ένζυμα. Η μαζική ανάλυση φασματομετρίας των ενζύμων πέψης

πρωτεϊνών είναι μια μεθοδολογία στην πρωτεομική για τη διαλεύκανση της ακολουθίας των αμινοξέων. Αλλά οι πιθανότητες απόκτησης της μαζικής υπογραφής αυτών των πεπτιδίων στην ανάλυση MALDI-TOF MS είναι ελάχιστες λόγω της μεγάλης συγκέντρωσης των ιονικών ακαθαρσιών σε ζωμό που λαμβάνεται μετά από την πέψη του ενζύμου. Η πέψη περιέχει πολλές ακαθαρσίες, όπως φωσφορικά, χλωριούχα, δωδεκυλθειικό νάτριο και ουρία. Αυτές οι ακαθαρσίες είναι σε θέση να καταστείλουν την κορυφή ( peak ) μοριακού ιόντος στην ανάλυση MALDI-TOF MS. Η ηλεκτροστατική προσρόφηση κάθε πεπτιδίου σε σπόρο Au-Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> οδηγείται από την επιφάνεια θετικού φορτίου του πεπτιδίου. Αυτή η πυκνότητα του θετικού φορτίου εξαρτάται από το pH του μέσου και της εγγενούς αξίας pI έκαστου πεπτιδίου. Αυτοί οι σπόροι επωάζονται για μία νύκτα με τη διαδικασία της πέψης και διαχωρίζονται με τη βοήθεια του εφαρμοσμένου μαγνητικού πεδίου. Οι προσμείξεις ιόντων και ουρίας απομακρύνονται με πλύση με νερό. Η ανάλυση MALDI-TOF MS δείχνει μάζες υπογραφών του κάθε συστατικού του πεπτιδίου. Μια άλλη έκθεση περιγράφει τη χρησιμότητα των μαγνητικών νανοσωματιδίων για την ανίχνευση των παθογόνων βακτηρίων σε βιολογικά υγρά με την επιλεκτική προσκόλληση της ανοσοσφαιρίνης G(IgG)-capped νανοσωματιδίων Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> επί του κυτταρικού τοιχώματος του βακτηρίου. Η ανάλυση MALDI-TOF MS του υπολείμματος που λαμβάνεται με μαγνητικό διαχωρισμό δείχνει τις μαζικές υπογραφές των παθογόνων που εκκρίνονται από τα βακτήρια. Το πρωτόκολλο αυτό δείχνει την αποτελεσματική ανίχνευση από τα δείγματα ούρων των παθογόνων σε πολύ χαμηλές συγκεντρώσεις. Το πρωτόκολλο ανίχνευσης των παθογόνων χρησιμοποιώντας Ig G-capped νανοσωματίδια μαγνητίτη

(Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>) μπορεί να χρησιμοποιηθεί στην κλινική ανίχνευση πολλών ασθενειών στα αρχικά τους στάδια.

Η αύξηση της επιφάνειας των σημάτων Raman από νανοσωματίδια ευγενούς μετάλλου είναι γνωστή αρκετά χρόνια. Η χρήση των νανοσωματίδιων ευγενούς μετάλλου ως ανιχνευτές ενισχυμένης σκέδασης Raman ( SERS ) σε βιολογικές εφαρμογές ερευνήθηκε αρχικά από την ερευνητική ομάδα του Mirkin. Τα βασικά χαρακτηριστικά γνωρίσματά τους δίνονται παρακάτω.

1. Οι μεταλλικές νανοδομές είναι χρήσιμες για την κατασκευή ευαίσθητων οπτικών ανιχνευτών, με βάση τα ενισχυμένα σήματα φασματοσκοπίας.
2. Η αξιοσημείωτη επίδραση συνδέεται με τα περιορισμένα οπτικά πεδία που είναι SERS.
3. Τα βελτιωμένα χαρακτηριστικά SERS μπορούν να επιτύχουν μεγαλύτερη ένταση, η οποία παράγει σήματα σε επίπεδο συγκρίσιμο ή ακόμα καλύτερο από του φθορισμού.
4. Σε αντίθεση με το φθορισμό, ο οποίος δημιουργεί συγκριτικά ευρείες ζώνες, η σκέδαση Raman δημιουργεί ένα διακριτικό φάσμα που αποτελείται από έναν αριθμό στενών φασματικών γραμμών, που προκύπτουν σε καλαίσθητα φάσματα.
5. Οι ανιχνευτές SERS προσφέρουν αυξημένη φασματική επιλεκτικότητα και είναι ανθεκτικοί απέναντι στη φωτολευκανση.

Οι μεταλλικές νανοδομές καλυμμένες με Raman δραστικά μόρια μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως ανιχνευτές ενδοκυτταρικών SERS. Τα νανοσωματίδια αργύρου καλυμμένα με 4-mercapto βενζοϊκό οξύ

χρησιμοποιήθηκαν ως SERS ανιχνευτές για την ανίχνευση του pH του κυτταροπλάσματος των κυττάρων ωοθήκης κινέζικου χάμστερ. Τα νανοσωματίδια χρυσού καλυμμένα με πράσινη ινδοκυανίνη χρησιμοποιούνται ως ενδοκυτταρικός SERS ανιχνευτής για την κυτταρική γραμμή καρκινώματος προστάτη αρουραίου.

Ο ανιχνευτής SERS για ανοσολογική δοκιμή κατασκευάζεται με την ενσωμάτωση ενός νανοσωματιδίου ευγενούς μετάλλου, μία Raman ενεργή χρωστική ουσία και ένα στοχευμένο επιλεκτικό βιομόριο. Το στοχευμένο επιλεκτικό βιομόριο συνδέεται με το νανοσωματίδιο διαμέσου του μορίου της βαφής με ομοιοπολικό δεσμό. Το μόριο αναλύτη προσροφάται στην επίχρυση γυάλινη πλάκα που ενεργοποιείται με dithiobis ( succinimide undecanoate ) ( DSU ). Το succinimide moiety της DSU αντιδρά με το μόριο αναλύτη σχηματίζοντας ένα δεσμό αμιδίου με την ενδεκανοϋλίου ( undecanoyl ) mercapto ομάδα στην επίχρυση γυάλινη πλάκα. Έτσι, το ομοιοπολικό σταθερό μόριο αναλύτη χαρακτηρίζεται από το σχηματισμό βιοσυζεύκτη. Οι βαφές Raman που χρησιμοποιούνται για πειράματα SERS είναι διλειτουργικές, οι οποίες περιλαμβάνουν δισουλφίδια για χημειορόφηση στην επιφάνεια των νανοσωματιδίων και ηλεκτριμίδια για τον σχηματισμό αμιδικού δεσμού με μονοκλωνικά αντισώματα. Με αυτόν τον τρόπο η κατασκευή του ανιχνευτή θα περιορίσει τα χρωστικά μόρια στο οπτικό πεδίο των νανοσωματιδίων του ευγενούς μετάλλου και εμφανίζεται περιορισμός του αναλύτη για τη βελτίωση των λειτουργιών Raman. Έτσι, η υβριδοποίηση του μονοκλωνικού αντισώματος της ουράς του ανιχνευτή SERS με το μόριο αναλύτη στο Au επικαλυμμένο γυάλινο υπόστρωμα θα έχει ως αποτέλεσμα την προσκόλληση του ανιχνευτή με το υπόστρωμα. Το υπόστρωμα πλένεται

και αναλύεται για την ένταση SERS από τη χρωστική. Υπάρχουν προηγούμενες εκθέσεις παρόμοιες με το πρωτόκολλο υβριδισμού αντισώματος αντιγόνου, στο οποίο ένας κλώνος του DNA με γνωστή αλληλουχία μπορεί να χρησιμοποιηθεί αντί ενός μονοκλωνικού αντισώματος στον ανιχνευτή SERS, με σκοπό την ανίχνευση του DNA στόχου. Η ανίχνευση των εξαιρετικά μικρών ποσοτήτων βιοδεικτών σπάνια επιτυγχάνεται με τη χρήση της κανονικής μεθοδολογίας των ανοσοδοκιμασιών.

Το Προστατικό ειδικό αντιγόνο ( PSA ), η γλυκοπρωτεΐνη 33-kDa κι ένας βιοδείκτης για τον καρκίνο του προστάτη, βρίσκονται στο πλάσμα του αίματος, σε συγκεντρώσεις που κυμαίνονται μεταξύ 4 και 10 ng / mL, σε έναν υγιή ενήλικο άντρα. Ως αποτέλεσμα μιας αύξησης στην εμφάνιση του καρκίνου του προστάτη, οι πιθανότητες σχηματισμού του συμπλόκου του PSA και της α-αντιχυμοτρυψίνης είναι αυξημένες. Αυτό το φαινόμενο μειώνει την ποσότητα του ελεύθερου PSA σε ασθενείς με καρκίνο. Έτσι, η συγκέντρωση του ελεύθερου PSA είναι σημαντική για τον προσδιορισμό της έκτασης του καρκίνου του προστάτη.

## **6.6 Η τρέχουσα κατάσταση της Νανοβιοτεχνολογίας**

Ένας συνδυασμός της νανοτεχνολογίας, της βιοτεχνολογίας και της βιοπληροφορικής έχει ως αποτέλεσμα την έλευση μιας νέας τεχνολογίας που ονομάζεται “νανοβιοτεχνολογία”. Ορίζεται ως ένα πεδίο που εφαρμόζει τις αρχές της νανοτεχνολογίας και της βιοπληροφορικής για να εξετάσει και να τροποποιήσει τα βιολογικά



συστήματα ή να εφαρμόσει τις αρχές των βιοεπιστημών και των επιστημών των υλικών για την ανάπτυξη νέων συσκευών και συστημάτων για βιοκατάλυση. Την τελευταία δεκαετία, η τεχνολογία έφτασε σε ένα επίπεδο, που της επέτρεψαν να αναπτύξει ανιχνευτές για την κατανόηση της ενδοκυτταρικής και διακυτταρικής βιολογικής διαδικασίας, νέες στοχευμένες ετικέτες για τα βιολογικά συστήματα και αποτελεσματικές ανοσοδοκιμασίες με βάση τα νανοσωματίδια για την ανίχνευση των βιοδεικτών σε εξαιρετικά χαμηλές συγκεντρώσεις και ανιχνευτές προ-συγκέντρωσης για την επιλεκτική προσρόφηση του αναλύτη από τα ακάθαρτα δείγματα.

Σε σύγκριση με άλλους κλάδους της νανοτεχνολογίας, η νανοβιοτεχνολογία έχει μεγάλες δυνατότητες για την τροφοδοσία των αναγκών της κοινωνίας. Η εφαρμογή αυτής της τεχνολογίας στην ιατρική διάγνωση και θεραπεία είναι πολύ γνωστή. Υπάρχουν εκθέσεις που τονίζουν τη χρήση των νανοκεραμικών υλικών που στηρίζουν την κατάλυση ενζύμου. Αυτό αποδεικνύει τις δυνατότητες των νανοϋλικών, όπως υποστηρίζεται για αρκετές διαδικασίες στη βιομηχανική βιοτεχνολογία. Η εφαρμογή των νανοϋλικών για διαχωρισμό και ανάλυση των πρωτεϊνών είναι επίσης γνωστά. Πολλές εταιρείες εμπορεύονται στην αγορά ετικέτες με βάση τα νανοσωματίδια. Μερικές από αυτές είναι SPI-Mark™, Nanoink Inc., Nanoprobes, Biocompare Inc. και Tedrella Inc. Πληθώρα νανοκαθετήρων είναι διαθέσιμοι στην αγορά για διάφορες εφαρμογές στον τομέα των βιοεπιστημών. Έτσι η νανοβιοτεχνολογία μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε κοινές εφαρμογές όπως την κλινική δοκιμασία και την ιατρική διάγνωση και μπορεί να προσφέρει φθηνότερες και αποδοτικές λύσεις.

## 6.7 Μελλοντικές προοπτικές της Νανοβιολογίας

Η Νανοβιολογία μπορεί να παρέχει καλύτερες μεθοδολογίες για την ιατρική διάγνωση και θεραπεία. Μπορεί επίσης να παρέχει καλύτερα εργαλεία για τις βιοχημικές αναλύσεις.

Οι μελλοντικές κατευθύνσεις της Νανοβιολογίας θα φανούν στους ακόλουθους τομείς:

- *Πρωτεομική:* Η μεθοδολογία που βασίζεται σε μαγνητικά νανοσωματίδια μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τον καθαρισμό της πρωτεΐνης και το διαχωρισμό. Τα μαγνητικά νανοσωματίδια μπορούν να δράσουν ως ανιχνευτές προ-συγκέντρωσης για MALDI TOF ανάλυση. Αυτές οι τεχνικές μπορούν να χρησιμοποιηθούν επιλεκτικά για την προσρόφηση κάθε πεπτιδίου που σχηματίζεται από το ένζυμο πέψης μιας συγκεκριμένης πρωτεΐνης.
- *Ιατρικές Επιστήμες:* Η στοχευμένη απεικόνιση ιστών με βάση τα νανοσωματίδια και οι κυτταρικές σειρές μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την έγκαιρη ανίχνευση και τον έλεγχο των ασθενειών. Επίσης, τα νανοσωματίδια αντισωμάτων μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την επιλεκτική καταστροφή των όγκων.
- *Βιοτεχνολογία:* Τα Νανοκεραμικά μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως αδρανή υποστηρίγματα για την κατάλυση ενζύμου. Έτσι, τα ένζυμα που υποστηρίζονται στα οξείδια του αδρανούς μετάλλου στη νανοκλίμακα έχουν πιθανές εφαρμογές στη βιομηχανία. Η χορήγηση φαρμάκων με μαγνητικό σκανδαλισμό και η παράδοση γονιδίων κυστιδίων είναι επίσης υποσχόμενες

περιοχές. Η ανάπτυξη των νανοσωματιδίων με βάση SERS και οι ανιχνευτές φθορισμού για τις ανοσολογικές και τα δακτυλικά αποτυπώματα DNA είναι μια νέα μεθοδολογία στη βιοχημική ανάλυση.

- *Μικροβιολογία:* Η Νανοβιολογία μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την αποτελεσματική κατανόηση των φαρμακολογικών αποκρίσεων των διαφόρων μικροοργανισμών. Ο μηχανισμός της ανθεκτικότητας στα φάρμακα, η δράση του φαρμάκου και η πρόσληψη του φαρμάκου από το μικροοργανισμό μπορούν να ανιχνευθούν με φασματοσκοπικές τεχνικές βασισμένες στα νανοσωματίδια. Η επιλεκτική απεικόνιση των ενδοκυττάρων τμημάτων είναι μία άλλη εξέχουσα εφαρμογή των νανοανιχνευτών. Οι ανιχνευτές SERS μπορούν να παραδώσουν χημικά επιλεκτική δόνηση πληροφορίας των ενδοκυττάρων τμημάτων. Τέλος, η Νανοβιολογία μπορεί να προσφέρει στοχευμένους επιλεκτικούς ανιχνευτές για να εξετάσει τα θεμελιώδη ζητήματα, όπως την κυτταρική διαίρεση και τη μεταφορά μεμβράνης.

## 6.8 Ερωτήσεις

- Πώς μπορούμε να εξετάσουμε τη φύση των μοριακών αλληλεπιδράσεων μεταξύ των νανοσωματιδίων και των βιομορίων;
  - Τι κάνει τη συγχώνευση της νανοτεχνολογίας και της βιολογίας δυνατή;
  - Ποιες είναι οι συγκεκριμένες ιδιότητες των μεταλλικών νανοσωματιδίων στην κατανόηση της βιολογίας;
  - Ποιες είναι οι αναλυτικές εφαρμογές των νανοανιχνευτών στη βιολογία;
- Πώς η ενιαία ανίχνευση μορίου γίνεται εφικτή;
- Πώς μπορούν να χρησιμοποιηθούν τα βιομόρια για τη συναρμολόγηση των νανοϋλικών;

## **Κεφάλαιο 7 : Οι κοινωνικές συνέπειες των Νανοεπιστημών και της Νανοτεχνολογίας (στις αναπτυσσόμενες χώρες)**

### **7.1 Εισαγωγή**

Ο στόχος αυτού του κεφαλαίου είναι να καταγράψει τις ευρύτερες κοινωνικές επιπτώσεις της νανοτεχνολογίας. Ο σκοπός για τον οποίο μελετάται ο κόσμος των νανοδομών, είναι για να αποκαλυφθούν νέες ιδιότητες, να παρασκευαστούν νέα υλικά με ξεχωριστές ιδιότητες και να μετατραπεί η νέα γνώση σε εφαρμοσμένη επιστήμη. Οι νανοδομές και οι εφαρμογές της νανοτεχνολογίας μπορεί ουσιαστικά να εισβάλουν και να διεισδύσουν σε όλους τους τομείς της ανθρώπινης ζωής, δεδομένου ότι τροποποιούν τα χαρακτηριστικά όλης της ύλης, έμψυχης και άψυχης. Θα φέρει επανάσταση σίγουρα στην ανθρώπινη κοινωνία με πρωτοφανή τρόπο. Αυτός ο νέος επιστημονικός κλάδος και η σχετική τεχνολογία θα έχουν αναμφίβολα τόσο επιθυμητές και ανεπιθύμητες επιπτώσεις, οι οποίες θα επηρεάσουν την κοινωνία στο σύνολό της και θα αλλάξει τη δομή, οργάνωση και λειτουργία της μακροπρόθεσμα. Πρόσφατες μελέτες αποκάλυψαν τη σημασία της νανοτεχνολογίας για την προώθηση της οικονομικής ανάπτυξης, την υγεία του ανθρώπου και την αύξηση του πλούτου στον αναπτυσσόμενο κόσμο. Στο παρελθόν, έχουμε βιώσει τις συνέπειες της τεχνολογίας και την κοινωνική απόκλιση. Προκειμένου να αποφευχθεί μια περαιτέρω διαφορά θεσμικοί δεσμοί μαζί με καινοτόμες, ολοκληρωμένες και πρωτότυπες λύσεις απαιτούνται.

## 7.2 Από την πρώτη Βιομηχανική Επανάσταση στη Νανο-Επανάσταση

Όταν ο James Watt ανακάλυψε την ατμομηχανή το 1765, δεν μπορούσε να φανταστεί ότι η εφεύρεσή του θα εκκινήσει την πρώτη βιομηχανική επανάσταση και θα μετασχηματίσει την κοινωνία με έναν τρόπο που μόνο η εφεύρεση του τροχού έκανε το 3500 π.Χ.. Η ατμομηχανή εισήλθε στην ιστορία της τεχνολογικής εξέλιξης ως σύμβολο της εποχής της εκμηχάνισης. Η εφεύρεση του Watt των ατμοκίνητων μηχανών έφερε επανάσταση στην κατασκευαστική διαδικασία και σχεδόν σε όλους τους τομείς που σχετίζονται με την ανθρώπινη και κοινωνική ζωή κατά τη διάρκεια του 18ου και 19ου αιώνα σε ένα τεράστιο και μη αναστρέψιμο τρόπο. Μια νέα εποχή για την επιστήμη, την τεχνολογία, την οικονομία, την κοινωνία και τον πολιτισμό μόλις είχε αρχίσει και ονομάζεται "Modern Times". Η ραγδαία ανάπτυξη του βιομηχανικού τομέα, οι διαδοχικές εφευρέσεις και οι τεχνολογικές καινοτομίες επέτρεψαν την επέκταση των εργοστασίων σε τεχνολογικά πάρκα που οδηγούν σε αύξηση της παραγωγής. Όλες αυτές οι εξελίξεις έστρωσαν το έδαφος για την επόμενη επανάσταση. Ο Βιομηχανικός Αυτοματισμός, επίσης γνωστή ως η δεύτερη Βιομηχανική Επανάσταση, που ξεκίνησε γύρω από το έτος 1870. Η βιομηχανική ρομποτική μετέτρεψε την τεχνολογική διαδικασία κατασκευής, δεδομένου ότι επέτρεψε την αυτοματοποιημένη παραγωγή μεγάλης κλίμακας με μειωμένο κόστος. Βελτιώθηκε και πιο αποτελεσματικές μέθοδοι παραγωγής διευκόλυναν τη μαζική παραγωγή σε μια παγκόσμια κλίμακα. Η εφεύρεση του τρανζίστορ και η σταδιακά αναπτυσσόμενη βιομηχανία ημιαγωγών άνοιξε το δρόμο για την τρίτη επανάσταση, την

Ψηφιακή Επανάσταση. Η εποχή του μετα-μοντερνισμού είχε μόλις αρχίσει, όταν το 1959, ο Richard Feynman έδωσε την ομιλία του, “There is Plenty of Room at the Bottom”. Το πιο πιθανό, είχε φανταστεί ότι τα προγνωστικά του θα οδηγήσουν σε περαιτέρω μετασχηματισμούς της παραγωγικής διαδικασίας, αλλά δεν θα μπορούσε να σκεφτεί ότι μια νέα νανο-επανάσταση, θα εκδηλωθεί στο κατώφλι της νέας χιλιετίας. Δεδομένου ότι η νανο-επιστήμη και η τεχνολογία, καθώς και η κατασκευή των νανοϋλικών δεν είναι πλέον φουτουριστικές φαντασιώσεις αλλά η πραγματικότητα, θα πρέπει να αξιολογήσουμε πώς η « απογοήτευση του ατομικού κόσμου » θα αλλάξει με τις σημερινές κοινωνίες μας.

Τα κοινά χαρακτηριστικά των νέων τεχνολογιών που μεταμόρφωσαν την ανθρώπινη και κοινωνική ζωή μεταξύ της πρώτης Βιομηχανικής Επανάστασης και της Ψηφιακής Επανάστασης είναι ότι έχουν σχεδιαστεί για μεγάλης κλίμακας παραγωγή η οποία ήταν μεγάλης εντάσεως - και ενεργειακά - σε συμφωνία με τις ανάγκες των μεγάλων υποδομών παραγωγής, και έχουν σχεδιαστεί για να ανταγωνιστούν στις παγκόσμιες αγορές.

Η Νανοεπιστήμη και η τεχνολογία απαιτούν τα νανοϋλικά. Η κατασκευή των νανοϋλικών δεν είναι απλώς άλλο ένα βήμα προς τη σωστή κατεύθυνση της ανάπτυξης, αλλά είναι επίσης σχετικά με τη χρήση της γνώσης της ατομικής κλίμακας για την παραγωγή νέων αντικειμένων με ένα φθηνότερο και καθαρότερο τρόπο, με μείωση κεφαλαίου και ενεργειακών πόρων, και με μεγαλύτερη ακρίβεια. Εδώ τονίζουμε μερικές από τις πιο χαρακτηριστικές ιδιομορφίες που εξηγούν την ιδιαιτερότητα των νανοεπιστημών και την κατασκευή των νανοϋλικών. Πρώτον, στη νανοκλίμακα, οι επιστήμες και τεχνολογίες

συγκλίνουν και ως εκ τούτου, πάμε πέρα από τα παραδοσιακά όρια των επιστημονικών κλάδων. Η Νανοεπιστήμη είναι μια διεπιστημονική φύση, δεδομένου ότι περιλαμβάνει χημεία, φυσική, βιολογία, μαθηματικά, γνωστική επιστήμη και τις επιστήμες της ζωής. Δεύτερον, ο έλεγχος και η χειραγώγηση όλων των αντικειμένων του έμβιου και μη έμβιου κόσμου -τα άτομα και τα μόρια- ενεργοποιούν τροποποιήσεις, οι οποίες μπορούν να επηρεάσουν κάθε τομέα της ζωής. Με άλλα λόγια, η βασική καινοτομία στη νανοεπιστήμη και νανοτεχνολογία είναι ότι οι επιστήμονες και οι τεχνολόγοι δεν εφεύρουν τον κόσμο *ex novo*, όπως και στο παρελθόν, αλλά *de novo* δεδομένου ότι τα νέα ευρήματα είναι κατασκευασμένα από συστατικά τα οποία δεν έχουν φυσικά ανάλογα. Τρίτον, ο όρος "νανο" αναφέρεται στη μέτρηση, νανομέτρων, όπως δείχνει το μέγεθος της ύλης που παρατηρείται και χειραγωγείται και ο όρος δεν αναφέρεται σε οποιοδήποτε αντικείμενο *per se*. Αυτό εξηγεί το απεριόριστο φάσμα νανο, δεδομένου ότι όλο το φυσικό θέμα, ανεξάρτητα από τη φύση του, μπορεί να μετρηθεί, και η μόνη προϋπόθεση είναι ότι πρέπει να υπάρχουν εγκαταστάσεις μέτρησης για το μέγεθος. Τέταρτον, η κατασκευή των νανοϋλικών δεν συνεπάγεται τεράστιες αρχικές κεφαλαιουχικές δαπάνες για βιομηχανική υποδομή που άλλες τεχνολογίες απαιτούν. Υπάρχουν συγκεκριμένα παραδείγματα που αποδεικνύουν την υπόθεση ότι η παραγωγή μπορεί να είναι οικονομικά αποδοτική και προσαρμοσμένη στις τοπικές ανάγκες, είτε μικρή ή μεγάλη. Αυτά τα παραδείγματα περιλαμβάνουν την παραγωγή των νανοϋλικών μέσω της βιολογίας.



### **7.3 Επιπτώσεις των Νανοεπιστημών και της Νανοτεχνολογίας στην Κοινωνία**

Η επιστήμη, η τεχνολογία και η κοινωνία είναι εγγενώς αλληλένδετες και χαρακτηρίζονται από αμοιβαία αλληλεξάρτηση. Η εφαρμογή της επιστημονικής γνώσης και των συναφών εξελίξεων είναι δύο από τους σημαντικότερους παράγοντες για τον καθορισμό της κοινωνικής προόδου και της ευημερίας. Εκατοντάδες άλλοι παράγοντες καθορίζουν, διαμορφώνουν και χαρακτηρίζουν τις τεχνολογικές, κοινωνικές και πολιτιστικές εξελικτικές διαδικασίες της κοινωνίας. Λαμβάνοντας υπόψη τον παράγοντα χρόνο, τεχνολογικές και κοινωνικές αλλαγές δεν μπορούν να συμβούν ταυτόχρονα δεδομένου ότι το κοινωνικό σύστημα έχει το δικό του χρόνο αντίδρασης στις αλλαγές και για να βρει τη νέα ισορροπία του. Οι προοδευτικές τεχνολογικές και κοινωνικές αλλαγές δεν υποδηλώνουν απαραίτητα προηγούμενες κοινωνικές δομές και ιστορικά, η επιστήμη και η τεχνολογία έχουν χρησιμοποιηθεί από όλες τις κοινωνίες, ανεξάρτητα από το στάδιο της ανάπτυξης, και δεν περιορίζονται μόνο στις πιο προηγμένες κοινωνίες.

Η κοινωνία αντιδρά στις τεχνολογικές αλλαγές με νέες μορφές θεσμών και αναπτύσσει τις δικές της απαντήσεις στην τεχνολογική καινοτομία. Όπως και σε όλα τα άλλα κυβερνητικά συστήματα, μια αλλαγή σε ένα από τα συστήματα θα δημιουργήσει μεταβολές στα άλλα επειδή αυτά τα συστήματα είναι σύνθετα οργανικά που συνδέονται με πολλαπλούς βρόχους ανάδρασης και ως εκ τούτου, ο κοινωνικός κόσμος ανταποκρίνεται πάντα στις επιστημονικές και τις τεχνολογικές καινοτομίες. Η επιστημονική και τεχνολογική διαδικασία της

καινοτομίας διαμορφώνει την εξέλιξη της κοινωνίας, και ως εκ τούτου είναι σημαντικό να κατανοήσουμε τις κοινωνικές επιπτώσεις της νανοεπιστήμης, της μηχανικής και της τεχνολογίας, προκειμένου να κατανοήσουν την κατεύθυνση προς την οποία η κοινωνία οδεύει. Είναι κοινή πεποίθηση ότι οι κοινωνικές επιπτώσεις στον αναπτυγμένο καθώς και στον αναπτυσσόμενο κόσμο θα είναι παρόμοιες με τις πρόσφατα αναδυόμενες τεχνολογίες του 21ου αιώνα, όπως η βιοτεχνολογία και πληροφορία και τεχνολογίες των επικοινωνιών. Η υπόθεση αυτή, ωστόσο, παραβλέπει δύο γεγονότα: πρώτον, η νανοτεχνολογία είναι μια τεχνολογία της σύντηξης και ως εκ τούτου ενσωματώνει, για παράδειγμα τεχνολογίες, όπως τη βιοενέργεια και την πληροφορική. Τα αποτελέσματα της συνεργίας, με αποτέλεσμα από τη διεπαφή δύο ή περισσότερων συστημάτων, θα ενισχύσει την πολυπλοκότητα και αναπόφευκτα υπερβαίνει τις υποθετικές συνέπειες μιας ενιαίας τεχνολογίας και, δεύτερον, ο κόσμος εισέρχεται στη σφαίρα του nano, ακόμη και όταν οι τεχνολογίες της πληροφορίας και της επικοινωνίας δεν έχουν ακόμη εισχωρήσει στην κοινωνία γενικότερα. Όσον αφορά τις προβλέψεις που αφορούν το μέλλον της Νανοτεχνολογίας, οι παγκόσμιες τάσεις υποδηλώνουν ότι το nano επιταχύνεται. Η Νανοτεχνολογία σίγουρα δεν θα αντικαταστήσει όλες τις άλλες τεχνολογίες, αλλά θα συνυπάρχει και θα δανείζεται από τις τεχνολογικές εφευρέσεις του παρελθόντος. Είναι μάλλον απίθανο ότι η εποχή nano θα αντικαταστήσει την ψηφιακή. Αντ' αυτού, η ψηφιακή εποχή θα συγκλίνει με την nano, και τα αποτελέσματα της συνεργίας τους θα οδηγήσει σε θεμελιώδεις και μη αναστρέψιμες αλλαγές στις υπάρχουσες, πολιτικές και πολιτιστικές δομές της κοινωνίας, της κοινωνικής οργάνωσης, και διάφορους μηχανισμούς και πρότυπα,

συμπεριλαμβανομένης της δημογραφικής δομής της κοινωνίας. Οι συνθήκες υποδεικνύουν ότι οι πιθανές επιπτώσεις της νανοτεχνολογίας θα υπερβούν ακόμη και εκείνες της πρώτης βιομηχανικής επανάστασης.

#### **7.4 Η Νανο-οικονομία**

Η τεχνολογία έχει πάντα διαδραματίσει κεντρικό ρόλο στην παραγωγή πλούτου και η αναδυόμενη αγορά της νανοτεχνολογίας έχει τη δυνατότητα να μετασχηματίσει και να αναμορφώσει όλους τους οικονομικούς τομείς, από την πρωτοβάθμια έως και την τριτοβάθμια. Η παραδοχή ότι οι νανοεπιστήμες και οι τεχνολογίες που απορρέουν θα αλλάξουν τον κόσμο πρέπει να πηγάζουν από μια βασική παραδοχή: ότι δηλαδή τα νέα ευρήματα και καινοτομίες σχετικά με την νανοκλίμακα θα έχουν ορατό και σημαντικό αντίκτυπο στην παραγωγικότητα. Η διάθεση στην αγορά των επιστημονικών ανακαλύψεων στα σύνορα της επιστήμης και των τεχνολογικών καινοτομιών στο χώρο του nano θα γίνει η κινητήρια δύναμη του nanomarket. Μπορούμε να υποθέσουμε ότι στα χρόνια που έρχονται, αυτό το σχετικά νέο οικονομικό φαινόμενο θα συμβάλει στην αύξηση του παγκόσμιου Ακαθάριστου Εγχώριου Προϊόντος (ΑΕΠ), όπως προβλέπεται από αξιόπιστους παγκόσμιους οικονομικούς θεσμούς όπως η Παγκόσμια Τράπεζα (ΠΤ) και το Διεθνές Νομισματικό Ταμείο (ΔΝΤ).

Δεδομένου ότι η νανοεπιχειρηματικότητα είναι ακόμα στα σπάργανα, ακόμη και στον ανεπτυγμένο κόσμο, είναι δύσκολο να εκτιμηθεί η ενδεχόμενη οικονομική επίπτωση που θα έχει στον αναπτυσσόμενο κόσμο. Η νανοεπιχειρηματικότητα καλύπτει ένα ευρύ φάσμα καθιερωμένων και στερεών κλάδων παραγωγής, από τη βιοτεχνολογία, υλικά, ηλεκτρονικά, ενέργεια, η υγειονομική περίθαλψη, τα κλωστοϋφαντουργικά προϊόντα, αισθητήρες και πολλά άλλα, και δεν αποκλείει κανένα επιχειρηματικό τομέα. Δεδομένου ότι όλες οι μορφές της ύλης τελικά αποτελούνται από άτομα και στοιχεία, θεωρητικά όλοι οι άνθρωποι θα μπορούσαν να εκτεθούν στην σχεδόν απεριόριστη νανοαγορά και να συμβάλουν στην περαιτέρω ανάπτυξή της. Ο συνεχώς αυξανόμενος αριθμός των ιδιωτικών εταιρειών νανοτεχνολογίας και η απότομη αύξηση των αιτήσεων για διπλώματα ευρεσιτεχνίας από δημόσια και ιδιωτικά ιδρύματα μαρτυρούν την ανοδική τάση στις εμπορικές καινοτομίες που σημειώθηκε στον τομέα της νανο-παραγωγής και το τρέξιμο σε νανοεπιχειρήσεις. Σε ό,τι αφορά την κεφαλαιαγορά, νανο-αποθέματα ήδη διαπραγματεύονται στα μεγάλα χρηματιστήρια παγκοσμίως και χρηματοπιστωτικά ιδρύματα, καθώς και οι ασφαλιστικές εταιρείες τροφοδοτούν το υψηλό ενδιαφέρον σε αυτή την νέα τεχνολογία και τα παράγωγά της. Όσον αφορά τις ιδιωτικές επενδύσεις και τη διαχείριση του κινδύνου, διαδραματίζουν ήδη σημαντικό ρόλο. Σε μικροοικονομικό επίπεδο, εξακολουθεί να είναι δύσκολο να εκφραστούν τα προγνωστικά λόγω των δύο βασικών λόγων, δηλαδή, η έλλειψη αξιόπιστων στοιχείων σχετικά με τη διάρθρωση του κόστους των νανο-μηχανικών προϊόντων, συσκευών και υπηρεσιών και, δεύτερον, το γεγονός ότι τα νανοτεχνολογικά εμπορεύματα εξακολουθούν να μην είναι

αναπόσπαστο μέρος της καθημερινής ζωής σε οποιοδήποτε μέρος του κόσμου (κυρίως επειδή υπάρχουν μόνο λίγα αγαθά μαζικής κατανάλωσης).

## 7.5 Η Νανο-ηθική

Δεν είναι το μόνο που μπορεί να γίνει, πρέπει να γίνει: Αυτός είναι ο πυρήνας της ηθικής διάστασης σε σχέση με την έρευνα και την τεχνολογική διαδικασία της καινοτομίας, σε γενικές γραμμές, και αυτό ισχύει και για τη νανοτεχνολογία, ειδικότερα. Δεδομένου ότι η νανοεπιστήμη και η νανοτεχνολογία δεν περιορίζονται στο πεδίο της επιστήμης των υλικών, αλλά για να φτάσει στις επιστήμες της ζωής, είναι σημαντικό να κατανοήσουμε τις ηθικές επιπτώσεις αυτού του νέου κλάδου. Ηθικές κατευθυντήριες γραμμές σχετικά με τις διαδικασίες έρευνας και δραστηριότητας στη σφαίρα των ατόμων και των μορίων είναι, στην πραγματικότητα, που απαιτούνται για να γεφυρωθεί το παρόν χάσμα μεταξύ της επιστήμης και της δεοντολογίας. Ένα από τα βασικά χαρακτηριστικά ενός τέτοιου κώδικα δεοντολογίας είναι η παρατήρηση, ο σεβασμός και η προστασία της ανθρώπινης αξιοπρέπειας και η μη παραβίαση της ιδιωτικής ζωής των ατόμων. Λίγη συστηματική έρευνα για τις ηθικές επιπτώσεις της νανοτεχνολογίας έχει αναληφθεί μέχρι τώρα. Η ηθική κοινότητα πρέπει να συμμετέχει ενεργά στη συζήτηση της νανοτεχνολογίας, διότι η εμπειρία των ειδικών σε θέματα ηθικής απαιτείται για την αποσκλήρυνση της αντιπαράθεσης μεταξύ των δύο μπλοκ. Οι μεγάλες ηθικές αντιπαραθέσεις δεν θα επικεντρωθούν στις απειλές για την αξιοπρέπεια του μέσου ενήλικα,

αλλά θα πρέπει να ασχολούνται με έμβρυα, παιδιά, αρρώστους, ηλικιωμένους και άτομα με ειδικές ανάγκες, οι οποίοι ανήκουν στις πιο ευάλωτες ομάδες της κοινωνίας.

## **7.6 Νανοτεχνολογία και πόλεμος**

Ο στρατιωτικός μηχανισμός διαδραματίζει κρίσιμο ρόλο στην επιστημονική και τεχνολογική διαδικασία της καινοτομίας, καθώς εφαρμόζεται στις ανακαλύψεις και στην ανάπτυξη στη νανοκλίμακα. Στον αναπτυγμένο καθώς και στον αναπτυσσόμενο κόσμο, μεγάλες επενδύσεις πραγματοποιήθηκαν για την εθνική ασφάλεια και την άμυνα. Η χρήση των νανο-μηχανικών υλικών για όπλα και η πιθανή χρήση ατομικών νανοδομών και συσκευών για όπλα μαζικής καταστροφής δεν είναι πλέον επιστημονική φαντασία αλλά πραγματικότητα. Ως εκ τούτου, είναι πιθανό ότι τα όπλα εξοπλισμένα με νανοτεχνολογία θα δρομολογήσουν στο παρόν και στο μέλλον ένοπλες συγκρούσεις επειδή δεν υπάρχει ακόμη καμία διεθνή ή εθνική απαγόρευση για τα όπλα που χρησιμοποιούν νανοσωματίδια και νανοτεχνικές. Ωστόσο, πρέπει να πούμε εδώ ότι η έρευνα για στρατιωτική χρήση έχει αποτέλεσμα σε καινοτομίες που θα μπορούσαν αργότερα να χρησιμοποιηθούν για μη στρατιωτικούς σκοπούς. Είναι ακόμη πολύ νωρίς για να προβούμε σε εικασίες σχετικά με την πιθανή τεχνολογική δυσμενή επίπτωση των νανοεμπορευμάτων που έχουν σχεδιαστεί για την άμυνα, αλλά δεν μπορεί κανείς να αποκλείει αυτό το ενδεχόμενο.

## 7.7 Η “Πράσινη” Νανοτεχνολογία

Η “Πράσινη” Νανοτεχνολογία έχει τη δυνατότητα να διαδραματίσει σημαντικό ρόλο στον αγώνα κατά των σημαντικότερων περιβαλλοντικών προβλημάτων του κόσμου. Η βιο-νανοτεχνολογία, για παράδειγμα, προσφέρει ένα ευρύ φάσμα δυνατοτήτων για μετριασμό των δυσμενών επιπτώσεων από την υποβάθμιση του περιβάλλοντος, ανεξάρτητα από τις αιτίες της και πηγές. Ειδικότερα, η βιο-νανοτεχνολογία μπορεί να προσφέρει βιώσιμες λύσεις για το έδαφος, τον αέρα και τη ρύπανση των υδάτων, καθώς και την αλόγιστη εκμετάλλευση των φυσικών πόρων. Η διασύνδεση της βιολογίας και της νανοτεχνολογίας, ωστόσο, δεν παράγει μόνο θετικά αποτελέσματα. Απειλές μπορούν να προκύψουν από την αυξημένη χημική ενεργητικότητα των υλικών στη νανοκλίμακα, την τοξικότητα των νανοσωματιδίων και τις ακόμα άγνωστες παρενέργειες από τις ατομικές και μοριακές μηχανικές υλικών. Είναι ακόμα άγνωστο πώς οι άνθρωποι και το περιβάλλον θα ανταποκριθούν σχετικά με τη διανομή και τη συσσώρευση νέων υλικών. Οι κίνδυνοι που προσδιορίζονται σε σχέση με την υγεία κυρίως σχετίζονται με την απορρόφηση των νανοσωματιδίων από το ανθρώπινο σώμα και την κατανομή τους, καθώς και τον κίνδυνο συσσώρευσης στα όργανα. Ωστόσο, πρόσφατα αποτελέσματα που προέκυψαν υποδηλώνουν ότι τα οφέλη υπερτερούν κατά πολύ των κινδύνων (π.χ., εφαρμόζονται τεχνικές νανοτεχνολογίας για τα συστήματα καθαρισμού του νερού).

## 7.8 Συμπεράσματα

Οι πιθανές κοινωνικές επιπτώσεις της επιστημονικής και τεχνολογικής καινοτομίας στο πεδίο της νανο και οι μελλοντικές εφαρμογές των ανακαλύψεων στα σύνορα της επιστήμης είναι μόνο εν μέρει κατανοητά και συνεπώς πρέπει να διερευνηθούν περαιτέρω. Η μοναδικότητα και η ιδιαιτερότητα των νανοεπιστημών και νανοτεχνολογιών, ιδίως όσον αφορά την διείσδυση τους σε σχεδόν όλους τους τομείς της ανθρώπινης ζωής, εξηγεί γιατί οι δυναμικές τους επιπτώσεις θα υπερβούν εκείνες όλων των άλλων συμβατικών τεχνολογιών που έχουν αναπτυχθεί έως σήμερα. Η σύγκλιση των νέων αναδυόμενων τεχνολογιών του 21ου αιώνα έχουν τη δυνατότητα να φέρουν επανάσταση στην κοινωνική και οικονομική ανάπτυξη και μπορεί να προσφέρει καινοτόμες και βιώσιμες λύσεις για τα πιο πιεστικά προβλήματα της παγκόσμιας κοινότητας και των βιοτόπων της. Μια καλύτερη κατανόηση των ενδεχόμενων οφελών και των κινδύνων της νανοεπιστήμης και της νανοτεχνολογίας είναι απαραίτητη, επειδή θα παρέχει στους φορείς χάραξης πολιτικής καλύτερα εργαλεία για να λαμβάνουν υπεύθυνες επιλογές. Οι νανοεπιστήμες και οι τεχνολογίες που απορρέουν, έχουν τη δυνατότητα να βελτιώσουν την κατάσταση του αναπτυσσόμενου κόσμου, εάν οι εφαρμογές έχουν σχεδιαστεί και προσαρμοστεί για να ταιριάζουν καλύτερα στις ανάγκες των ανθρώπων. Σε αντίθεση με άλλες τεχνολογίες, η νανοτεχνολογία προσφέρει μια μοναδική ευκαιρία για να γεφυρώσει το τεχνολογικό χάσμα μεταξύ των βιομηχανικών και των αναπτυσσόμενων χωρών. Αλλά ένα ευνοϊκό έδαφος για την ανάπτυξη αυτών των φύτρων πρέπει να προετοιμαστεί και επομένως κοινές και συντονισμένες προσπάθειες



από όλους τους ενδιαφερόμενους απαιτούνται για να αποφανθούν οι μελλοντικές φατρίες και οι νέες διαχωριστικές γραμμές.

## 7.9 Ερωτήσεις

- Ποιες είναι οι συγκεκριμένες επιπτώσεις στην κοινωνία, όταν εφαρμόζονται προηγμένες τεχνολογίες;
- Πώς μπορεί η νανοέρευνα να οδηγήσει σε ένα νέο πολιτικό χάσμα;
- Πώς μπορεί να χρησιμοποιηθεί η νανοτεχνολογία για την αειφόρο ανάπτυξη;

## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [ 1 ] **T.Pradeep**, NANO : The Essentials  
Understanding Nanoscience and Nanotechnology
- [ 2 ] <http://www.wikipedia.org>
- [ 3 ] The basis of Nanomagnetism,  
<http://www.springer.com>
- [ 4 ] Kitchen synthesis of Nanorust, <http://cnx.org>  
openstax CNX
- [ 5 ] <http://vivliothmmy.ee.outh.gr>

