



Γέφυρα μεταξύ της έρευνας στη σύγχρονη φυσική  
και της επιχειρηματικότητας στον τομέα της νανοτεχνολογίας

---

## Κβαντική Φυσική

*Η φυσική των πολύ μικρών στοιχείων με τις μεγάλες εφαρμογές*

### Μέρος 2

## ΚΒΑΝΤΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ

*Μαθησιακός σταθμός XI:*

*Από την Κβαντομηχανική στα νανοσωματίδια και τις  
εφαρμογές τους*

ΜΕΤΑΦΡΑΣΗ:



Το Quantum Spin-Off χρηματοδοτείται από την Ευρωπαϊκή Ένωση υπό το πρόγραμμα LLP  
Comenius  
(540059-LLP-1-2013-1-BE-COMENIUS-CMP).

Renaat Frans, Laura Tamassia

Επαφή: [renaat.frans@khlim.be](mailto:renaat.frans@khlim.be)



Lifelong  
Learning  
Programme

Το παρόν υλικό αντικατοπτρίζει τις απόψεις των συγγραφέων και η Ευρωπαϊκή  
Επιτροπή δεν μπορεί να θεωρηθεί υπεύθυνη για τη χρήση οποιασδήποτε

## ΣΤΑΘΜΟΣ ΜΑΘΗΣΗΣ XI: ΑΠΟ ΤΗΝ ΚΒΑΝΤΟΜΗΧΑΝΙΚΗ ΣΤΑ ΝΑΝΟΣΩΜΑΤΙΑ ΚΑΙ ΤΙΣ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΤΟΥΣ

<b>Εισαγωγή</b> .....	<b>65</b>
<b>1. Στοιχειώδη σωμάτια στην νανοτεχνολογία</b> .....	<b>65</b>
<b>2. Το μέγεθος μετράει</b> .....	<b>66</b>
<b>3. Μπορούμε να παρατηρήσουμε αυτό το φαινόμενο σε ένα πραγματικό πείραμα;</b> .....	<b>67</b>
3.α Φάσμα εκπομπής μεμονωμένων ατόμων .....	67
3.β Πως μπορούμε να παρατηρήσουμε το φάσμα εκπομπής; .....	67
3.γ Οδηγίες βήμα-βήμα για να φτιάξετε το δικό σας φασματόμετρο .....	67
3.δ Τι μπορούμε να παρατηρήσουμε και να διερευνήσουμε με το φασματόμετρό μας; ....	72
3.ε Πως λειτουργεί η φασματοσκοπία φθορισμού;.....	72
<b>4. Κβαντικές τελείες</b> .....	<b>73</b>
<b>5. Μερικά παραδείγματα νανοσωματιδίων</b> .....	<b>75</b>
5.α Μεταλλικά νανοσωματίδια.....	75
5.β Κεντρικό κέλυφος ή νανοκέλυφος.....	76
5.γ Νανοϋλικά άνθρακα.....	77
5.δ Ενεργητικά νανοσύνθετα .....	79
5.ε Νανοαφρός.....	79
5.στ Νανολειβάδι.....	80
<b>Συμπεράσματα</b> .....	<b>81</b>

### Αναφορά Δημιουργού - Μη Εμπορική Χρήση - Παρόμοια Διανομή 4.0 Διεθνές (CC BY-NC-SA 4.0)

Υπό τους ακόλουθους όρους:

- Αναφορά στον δημιουργό — Πρέπει να κάνετε [κατάλληλη μνεία](#), να παρέχετε σύνδεσμο στην άδεια και [να δηλώνετε τυχόν τροποποιήσεις](#). Αυτό μπορείτε να το κάνετε με οποιονδήποτε εύλογο τρόπο, χωρίς όμως να υπονοείται ότι ο αδειοδότης εγκρίνει εσάς ή τη χρήση σας.
- Μη-εμπορική — Δεν επιτρέπεται η χρήση του υλικού για [εμπορικούς σκοπούς](#).

Μπορείτε να:

- Μοιραστείτε - να αντιγράψετε και να αναδιανείμετε το υλικό με οποιοδήποτε μέσο ή μορφή
- Προσαρμόσετε - να αμεμίξετε, να τροποποιήσετε και να δημιουργήσετε πάνω στο υλικό  
Ο δικαιούχος δεν μπορεί να ανακαλέσει αυτές τις ελευθερίες, εφόσον τηρείτε τους όρους της άδειας.

Αναφορά στο έργο πρέπει να γίνεται ως εξής:

Reivelt, K., Vlassov, S. (2015) Quantum SpinOff Learning Station: From Quantum mechanics to nanoparticles and their applications. Centre for School Physics and Laboratory of Low Temperatures, University of Tartu, Εσθονία



## Εισαγωγή

Μέχρι στιγμής έχουμε ερευνήσει πολύ απλά κβαντικομηχανικά συστήματα, όπως είναι τα φωτόνια, τα ηλεκτρόνια και άτομα υδρογόνου. Έχουμε μάθει επίσης για ορισμένα κβαντομηχανικά φαινόμενα όπως η εκπομπή φωτός και το φαινόμενο σήραγγας. Ωστόσο, ρεαλιστικά κβαντικά συστήματα αποτελούνται από πολλά άτομα ή μόρια, και δεν είμαστε σε θέση να διερευνήσουμε τα συστήματα αυτά με ακριβείς μαθηματικούς τύπους. Σε γενικές γραμμές, ακόμα και όταν έχουμε κβαντικά συστήματα που αποτελούνται από δεκάδες άτομα, μια τέτοια ανάλυση είναι υπερβολικά περίπλοκη, ακόμη και με τα πιο προηγμένα συστήματα υπολογιστών που έχουμε ή που μπορεί να οικοδομήσουμε.

Σε αυτό το μαθησιακό σταθμό ψάχνουμε για μια ομαλή μετάβαση από την κβαντική μηχανική στη μελέτη των πολύπλοκων συστημάτων κβαντικής μηχανικής, ή νανοσυστημάτων. Θα το κάνουμε αυτό με την εισαγωγή της νανοτεχνολογίας, η οποία είναι σήμερα μια περιοχή έντονης επιστημονικής έρευνας λόγω της ευρείας ποικιλίας των πιθανών εφαρμογών της. Αυτό συμβαίνει λόγω των φυσικών ιδιοτήτων των νανοσυστημάτων: οι φυσικές ιδιότητες των υλικών, τα οποία θα πρέπει κανονικά να είναι σταθερές, αλλάζουν καθώς το μέγεθος προσεγγίζει το νανοκλίμακα και καθώς το ποσοστό των ατόμων στην επιφάνεια ενός υλικού καθίσταται σημαντικό. Οι ιδιότητες αυτές μπορούν να χρησιμοποιηθούν για διάφορες εφαρμογές, όπως θα δούμε στις ενότητες 4 και 5.

## 1. Στοιχειώδη σωμάτια στην νανοτεχνολογία

Στη νανοτεχνολογία, ένα σωμάτιο ορίζεται ως ένα μικρό αντικείμενο το οποίο συμπεριφέρεται σαν ανεξάρτητη μονάδα ως προς τη μεταφορά και τις ιδιότητές του. Πιο συγκεκριμένα, ένα νανοσωμάτιο (ή νανοσκόνη, ή νανοκρύσταλλος) έχει τουλάχιστον την μία διάστασή του μικρότερη από 100 nm.

Τα σωμάτια κατατάσσονται ανάλογα με το μέγεθός τους:

1. **Λεπτά σωμάτια** τα οποία καλύπτουν μια περιοχή ανάμεσα σε **100 και 2500 nm**.
2. **Νανοσωμάτια** με μέγεθος ανάμεσα σε **1 και 100 nm**: συντίθενται σκόπιμα και ο περιορισμός μεγέθους μπορεί να γίνει σε 2 διαστάσεις.
3. **Υπέρλεπτα σωμάτια** τα οποία έχουν επίσης μέγεθος ανάμεσα σε 1 και 100 nm, αλλά ο όρος αυτός χρησιμοποιείται κυρίως για να περιγράψει σωμάτια μεγέθους της τάξης του νανόμετρου τα οποία δεν παρήχθησαν σκόπιμα αλλά είναι τα τυχαία παράγωγα διαδικασιών σχετικών με αυτοκίνηση, τις συγκολλήσεις, την βιομηχανία, το έδαφος, την καύση, τα καυσαέρια βενζινοκινητήρων αλλά και την ηφαιστειακή δραστηριότητα.

### Φυσικά υπέρλεπτα σωμάτια

- Ιοί – 10nm - 60nm
- Βακτήρια – 30nm - 10 μm
- Σκόνη από έρημο – περίπου 100 nm
- Ηφαιστειακή στάχτη

### Υπέρλεπτα σωματίδια στην τεχνολογία

- Αιθάλη καύση – 10nm έως 80nm
- Χρωστικές ουσίες – 80nm έως 100nm
- Αναθυμιάσεις συγκόλλησης – 10nm έως 50nm
- Καυσαέρια βενζινοκινητήρων – 7nm έως 40nm



- ο Μαύρο χρώμα για το τόνερ ενός εκτυπωτή – 10nm έως 400nm
4. **Νανοσυστάδες** οι οποίες αποτελούνται από έναν **ακριβή αριθμό σωματιδίων**, από μερικά έως δωδεκάδες. Στην νανοεπιστήμη, οι νανοσυστάδες με μέγεθος που ξεκινά από ένα κλάσμα του νανομέτρου έως μερικά νανόμετρα έχουν ιδιαίτερο ενδιαφέρον. Οι ιδιότητες των νανοσυστάδων είναι καλά καθορισμένες. Οι μοναδικές ιδιότητες των ηλεκτρονίων και της επιφάνειας μεταλλικών συστάδων τις καθιστούν ελπιδοφόρες για την δημιουργία μιας νέας γενιάς καταλυτών οι οποίοι έχουν εξαιρετική δραστηριότητα και επιλεκτικότητα για μεγάλο εύρος βιομηχανικά σημαντικών χημικών διαδικασιών.
  5. **Νανοσκόνες** οι οποίες είναι συσσωματώματα από υπέρλεπτα σωματίδια, νανοσωμάτια, ή νανοσυστάδες.
  6. **Κρύσταλλοι μεγέθους νανομέτρου** οι οποίοι συνήθως αναφέρονται ως νανοκρύσταλλοι.

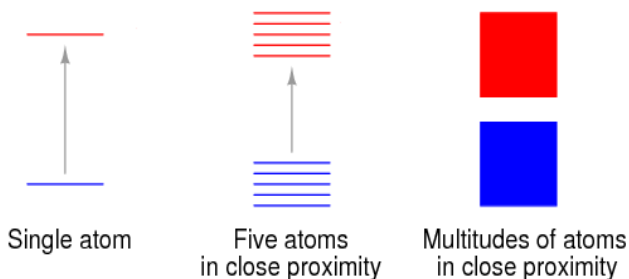
## 2. Το μέγεθος μετράει

Το μέγεθος ενός ατόμου είναι περίπου 1 άγκστρομ (που αντιστοιχεί σε 0.1 nm).

### Άσκηση:

1. Πόσα άτομα χωράνε σε ένα νανόμετρο;
2. Πόσα άτομα χωράνε σε 100 νανόμετρα;

Από αυτήν την μικρή άσκηση θα πρέπει να είναι ξεκάθαρο ότι ένα νανοσωμάτιο δεν είναι ένα σωματίο με την έννοια που μάθαμε στην κβαντομηχανική, αλλά είναι στην πραγματικότητα μία συστάδα ατόμων. Από την άλλη πλευρά, δεν είναι ούτε σαν τα στερεά για τα οποία μάθαμε στον σταθμό μάθησης VII (ημιαγωγοί), αφού ο αριθμός ατόμων σε ένα σωματίο δεν είναι τόσο μεγάλος.



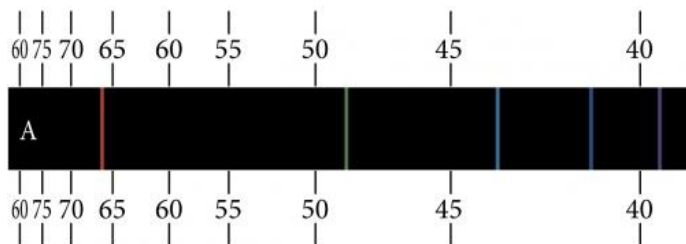
**Σχήμα 1.** Αν πάρουμε έναν πολύ μεγάλο αριθμό ατόμων τα μετατοπισμένα ενεργειακά επίπεδα θα σχηματίσουν ένα πολύ πυκνά συγκεντρωμένο σύνολο ενεργειακών καταστάσεων.

Ήδη γνωρίζουμε πως ο αριθμός ατόμων σε ένα σύστημα αλλάζει την δομή ενός ατόμου: Αν πολλά άτομα είναι συγκεντρωμένα μαζί θα έχουμε ένα πυκνά δομημένο σύνολο πιθανών ενεργειακών καταστάσεων οι οποίες σχηματίζουν μια ενεργειακή ζώνη. Θα δούμε αυτό το φαινόμενο και στα νανοσωμάτια. Επιπλέον, αν θυμηθούμε την εικόνα από τον σταθμό μάθησης VII, θα καταλάβουμε ότι οι ιδιότητες των νανοσωματίων εξαρτώνται από το μέγεθός τους – όσο ο αριθμός ατόμων αυξάνει, τα ενεργειακά επίπεδα θα βρίσκονται πιο κοντά το ένα στο άλλο, το εύρος του ενεργειακού χάσματος αλλάζει, κλπ.

### 3. Μπορούμε να παρατηρήσουμε αυτό το φαινόμενο σε ένα πραγματικό πείραμα;

#### 3.α Φάσμα εκπομπής μεμονωμένων ατόμων

Ήδη γνωρίζουμε ότι στην μετάβαση των ατόμων από μία κατάσταση με υψηλότερη ενέργεια σε μία κατάσταση με χαμηλότερη ενέργεια παράγεται ένα φωτόνιο με ενέργεια ίση με την ενεργειακή



Σχήμα 2: Φάσμα εκπομπής του ατόμου του υδρογόνου

διαφορά. Επομένως, στα άτομα έχουμε κβαντισμένα ενεργειακά επίπεδα, δηλαδή τα πιθανά ενεργειακά επίπεδα του ηλεκτρονίου σε ένα άτομο – για παράδειγμα το άτομο του υδρογόνου – μπορούν να θεωρηθούν σαν μια σκάλα από πιθανές καταστάσεις. Αυτό σημαίνει ότι το φως που εκπέμπεται από ένα μεμονωμένο άτομο έχει μόνο

συγκεκριμένα χρώματα (γραμμές εκπομπής) οι οποίες καθορίζονται από τις δυνατές μεταβάσεις ανάμεσα στα ενεργειακά του επίπεδα. Λέμε ότι τα μεμονωμένα άτομα έχουν διακριτό φάσμα εκπομπής.

#### 3.β Πως μπορούμε να παρατηρήσουμε το φάσμα εκπομπής;



Εικόνα 3. Φάσμα εκπομπής του φωτός από ένα κερί

Εν γένει πρέπει να χρησιμοποιήσετε μια συσκευή που ονομάζεται φασματόμετρο για να παρατηρήσετε και να μετρήσετε το φάσμα του φωτός. Στους προηγούμενους σταθμούς ήδη αναφέραμε ότι ένα γυάλινο πρίσμα μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να διαχωρίσει τις γραμμές εκπομπής του ατόμου του υδρογόνου. Στην εικόνα 3 βλέπουμε έναν απλό και εντυπωσιακό τρόπο να παρατηρήσουμε το φάσμα εκπομπής ενός κεριού. Βλέπουμε ότι το φάσμα δεν αποτελείται από διακριτές γραμμές εκπομπής πλέον. Γιατί; Ίσως λόγω της ποιότητας αυτού του απλού φασματομέτρου;

Αν ρίξουμε άλλη μια ματιά στην εικόνα 1 είναι αρκετά προφανές ότι τα ηλεκτρόνια σε πολύ κοντά ομαδοποιημένα άτομα μπορούν να εκτελέσουν μεταβάσεις ανάμεσα σε κοντά συγκεντρωμένα ενεργειακά επίπεδα, δηλαδή ενεργειακές ζώνες. Επομένως το φάσμα εκπομπής τους δεν χρειάζεται να είναι διακριτό πλέον. Στην πράξη, το περισσότερο φως γύρω μας έχει συνεχές φάσμα.

Αν ρίξουμε άλλη μια ματιά στην εικόνα 1 είναι αρκετά προφανές ότι τα ηλεκτρόνια σε πολύ κοντά ομαδοποιημένα άτομα μπορούν να

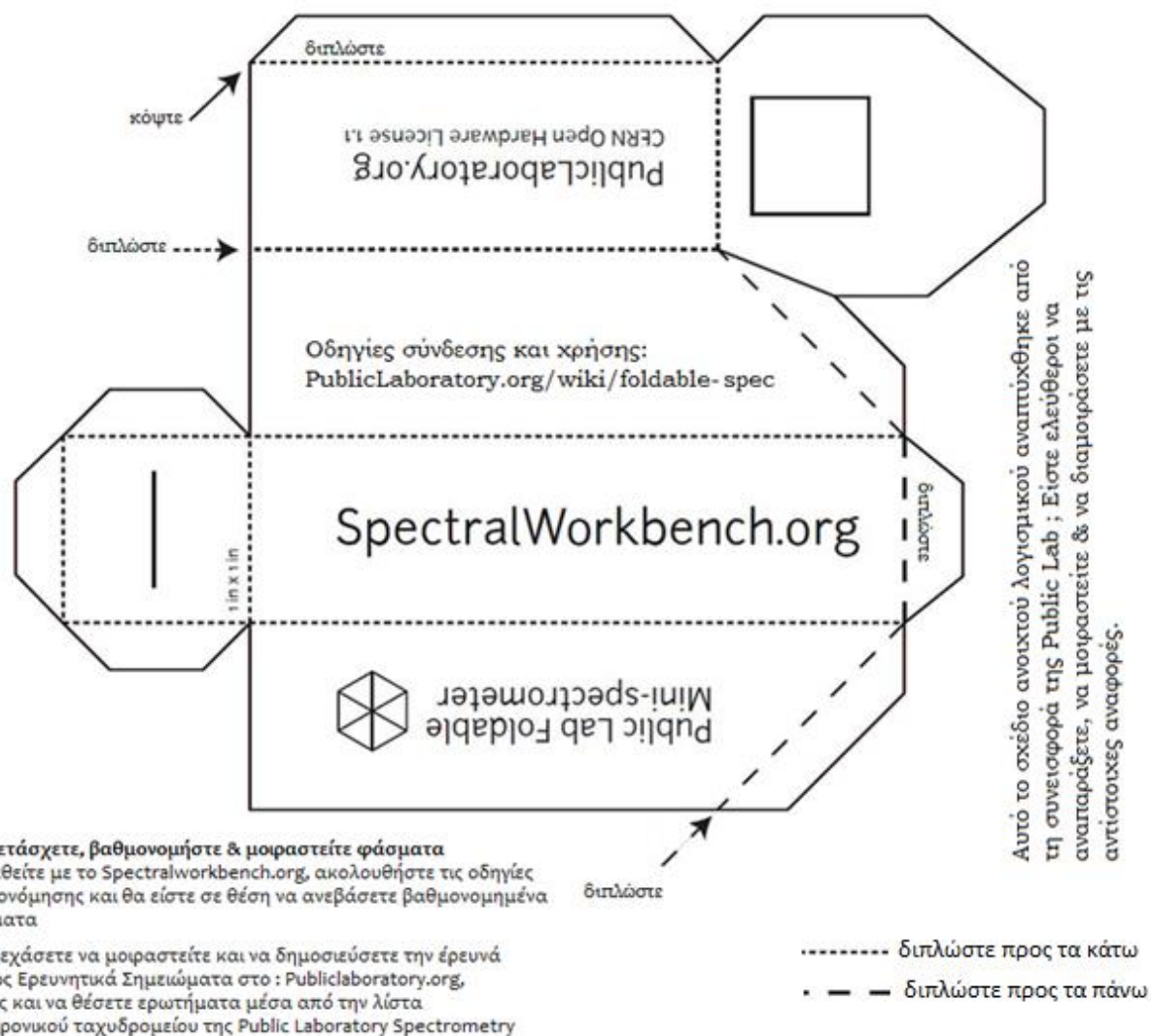
#### 3.γ Οδηγίες βήμα-βήμα για να φτιάξετε το δικό σας φασματόμετρο

Μπορούμε εύκολα να κατασκευάσουμε ένα απλό φασματόμετρο για να παρατηρήσουμε το φάσμα εκπομπής από διαφορετικές πηγές φωτός. Η Public Lab (<http://publiclab.org>) έχει αναπτύξει ένα Φτιάξε-το-μόνος-σου φασματόμετρο το οποίο κατασκευάζεται από απλά υλικά:

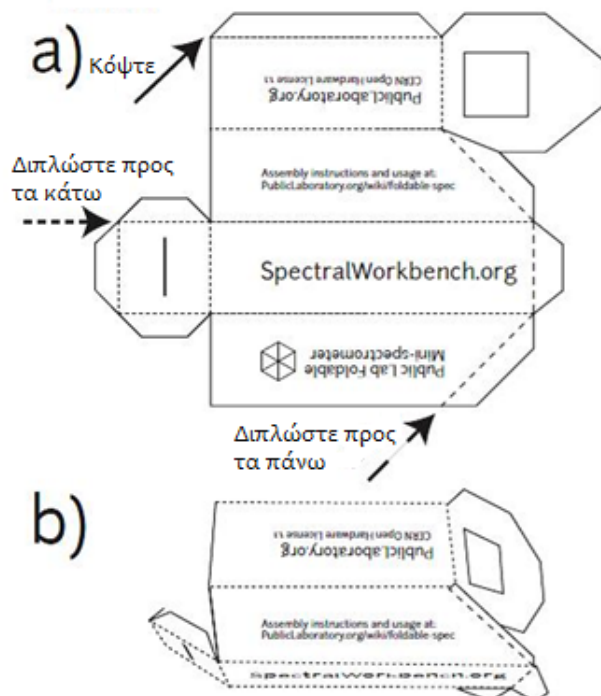
- Χοντρό μαύρο χαρτόνι,
- Ένας καθαρός δίσκος DVD-R,
- Μία web-κάμερα USB (κατά προτίμηση υψηλής ευκρίνειας),
- Ένα δοχείο μεταφοράς τύπου LB (βασικά ένα κουτί από το οποίο δεν διέρχεται φως με ένα ζευγάρι από τρύπες),
- Μια ταινία διπλής επικολήσεως και έναν χαρτοκόπτη,
- Τα πολύ στενά αυλάκια του DVD δρουν σαν φράγμα περίθλασης – σαν πρίσμα.

Ακολουθώντας τις παρακάτω οδηγίες μπορείτε να φτιάξετε το δικό σας φασματόμετρο.

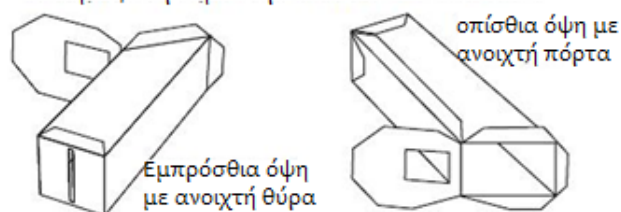
Πάρτε ένα κομμάτι μαύρου χαρτονιού και κόψτε κατά μήκος της εξωτερικής ακμής:



- 1. Κόψτε και διπλώστε:**  
Κόψτε κατά μήκος της εξωτερικής άκρης. Διπλώστε προς τα πάνω ή προς τα κάτω όπως δείχνουν οι διακεκομμένες και οι διάστικτες γραμμές. Όλες οι ταμπέλες θα πρέπει να βρίσκονται στην εξωτερική μεριά



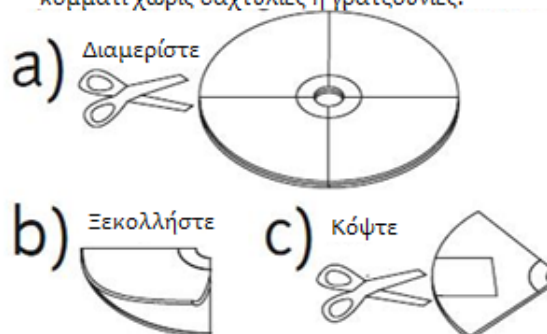
Εκτός από την θύρα στην οποία τοποθετήθηκε το φράγμα περίθλασης, κολλήστε όλες τις πλευρές στην εξωτερική πλευρά



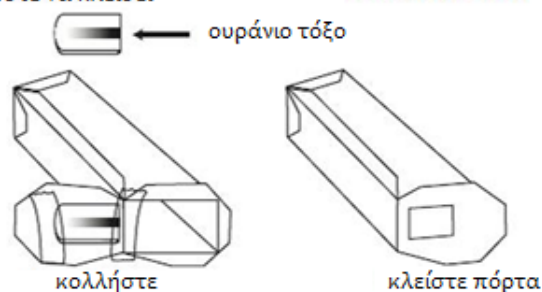
- 2. Δημιουργήστε ένα φράγμα περίθλασης από ένα δίσκο DVD:**  
Ένα φράγμα περίθλασης είναι μια σειρά από κοντινές σχισμές που διασπείρουν το φως



Για να φτιάξετε ένα φράγμα χρησιμοποιώντας ένα DVD-R, χωρίστε το σε τέταρτα, ξεκολλήστε το ανακλαστικό στρώμα και κόψτε ένα μικρό καθαρό τετράγωνο από το διαφανές στρώμα. Προσπαθήστε να επιλέξετε ένα καθαρό κομμάτι χωρίς δαχτυλιές ή γρατζουνιές.



Για να λειτουργήσει το DVD ως ένα φράγμα περίθλασης, θα πρέπει να τοποθετηθεί έτσι ώστε οι σχισμές της να είναι κάθετες, δημιουργώντας ένα οριζόντιο φασματικό ουράνιο τόξο. Κολλήστε το κομμάτι του DVD στο εσωτερικό της θύρας του φασματομέτρου και στη συνέχεια κολλήστε την θύρα ώστε να κλείσει





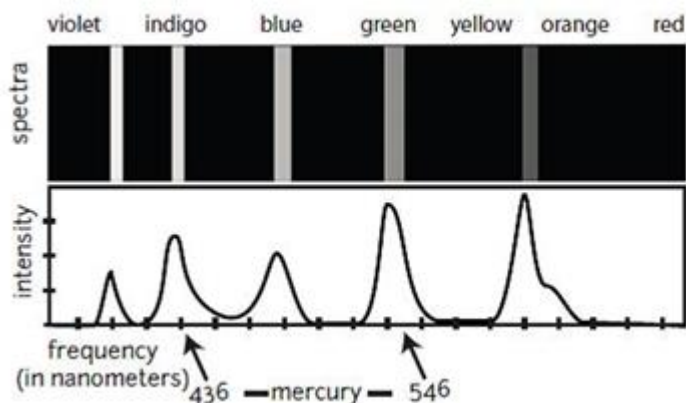
### 3. Προσαρμόστε σε μία διαδικτυακή κάμερα, τηλέφωνο, ή λάπτοπ

Το φασματόμετρο μπορεί να συνδεθεί στην κάμερα ενός τηλεφώνου, σε ένα λάπτοπ, ή με την βοήθεια ενός κουτιού να συνδεθεί με μία διαδικτυακή κάμερα. Ευθυγραμμίστε προσεκτικά ώστε το ουράνιο τόξο να είναι στο μέσον της εικόνας, και επικολλήστε ώστε το φασματόμετρο να παραμείνει σταθερό.



#### Διαβάζοντας Φάσματα:

Κάθε μόριο εκπέμπει μόνο καθορισμένες συχνότητες φωτός, και υπο τις κατάλληλες συνθήκες, ένα φασματόμετρο μπορεί να τις ανιχνεύσει ως ταινίες ουράνιου τόξου. Οι δύο καθαρές ταινίες του υδραγύρου σε συμπαγείς φθορίζουσες ουσίες κάνουν εύκολη τη βαθμονόμηση

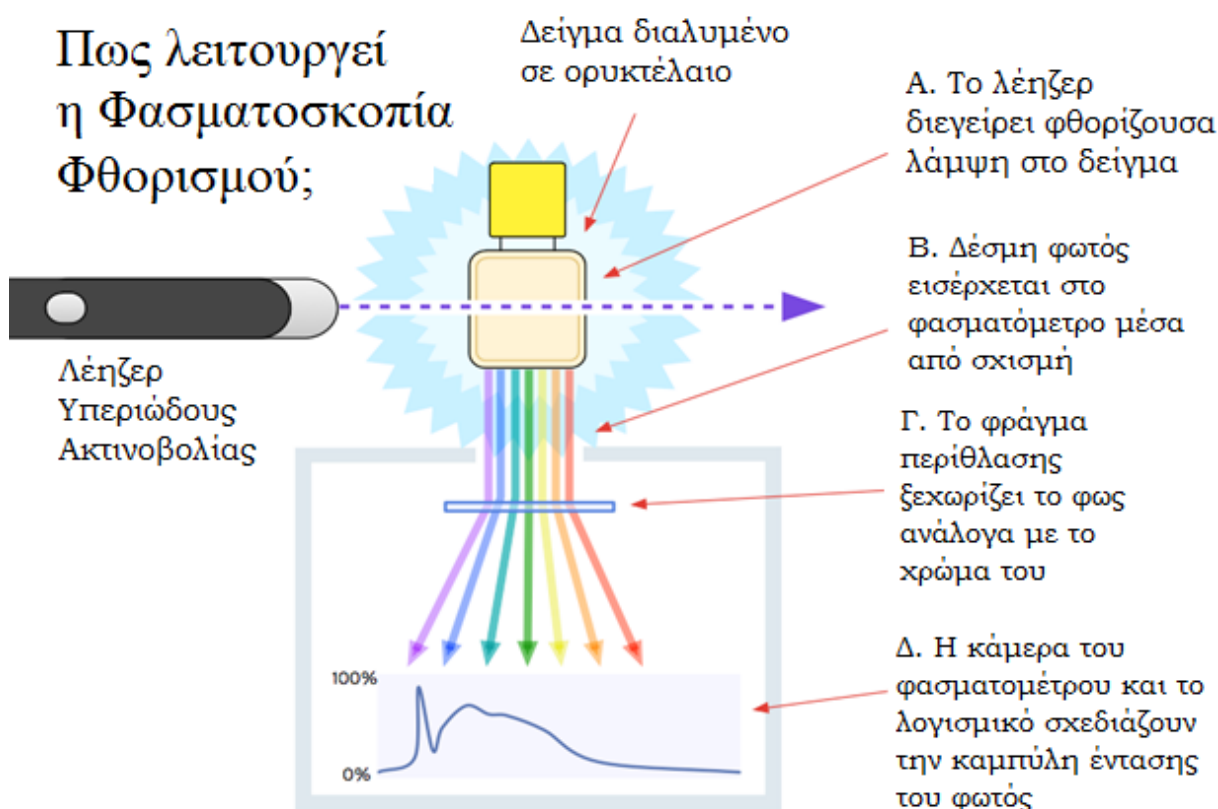


Εικόνα 4. Οδηγίες για το πώς να φτιάξετε το δικό σας φασματόμετρο (πηγή: Public Lab – Spectrometer [<http://publiclab.org/wiki/spectrometer>])

### 3.δ Τι μπορούμε να παρατηρήσουμε και να διερευνήσουμε με το φασματόμετρό μας;

- Ζητήστε από τον καθηγητή φυσικής σας για μία λάμπα εκκένωσης αερίου. Με αυτό το είδος λάμπας μπορείτε να παρατηρήσετε το φάσμα εκπομπής μεμονωμένων ατόμων.
- Βρείτε όσο περισσότερες πηγές φωτός μπορείτε (Ήλιος, LEDs, λαμπτήρες πυρακτώσεως, φως λέιζερ) και παρατηρήστε το φάσμα εκπομπής τους με το φασματόμετρό σας.
- Τι πιστεύετε, γιατί είναι τα περισσότερα φάσματα συνεχή και όχι διακριτά;

### 3.ε Πως λειτουργεί η φασματοσκοπία φθορισμού;



Σχήμα 5. Αρχή λειτουργίας του φασματομέτρου (πηγή: Public Lab – Spectrometer [<http://publiclab.org/wiki/spectrometer>])

- Βρείτε ένα πράσινο ή ένα μπλέ λέιζερ (Αποφύγετε άμεση έκθεση των ματιών σας στο φως του λέιζερ)
- Βρείτε έναν μαρκαδόρο «neon” και φωτίστε το μελάνι του με το λέιζερ.
- Ποιο είναι το χρώμα που εκπέμπει το μελάνι του μαρκαδόρου;
- Το μελάνι σε αυτό το είδος των μαρκαδόρων αποτελείται από διάφορα περίπλοκα χημικά σκευάσματα. Μπορείτε να σχεδιάσετε το σύστημα των ενεργειακών επιπέδων του μελανιού και να περιγράψετε πως ένα μπλέ/πράσινο φως μπορεί να παράξει ένα κίτρινο ή φθορίζον φως από το μελάνι;

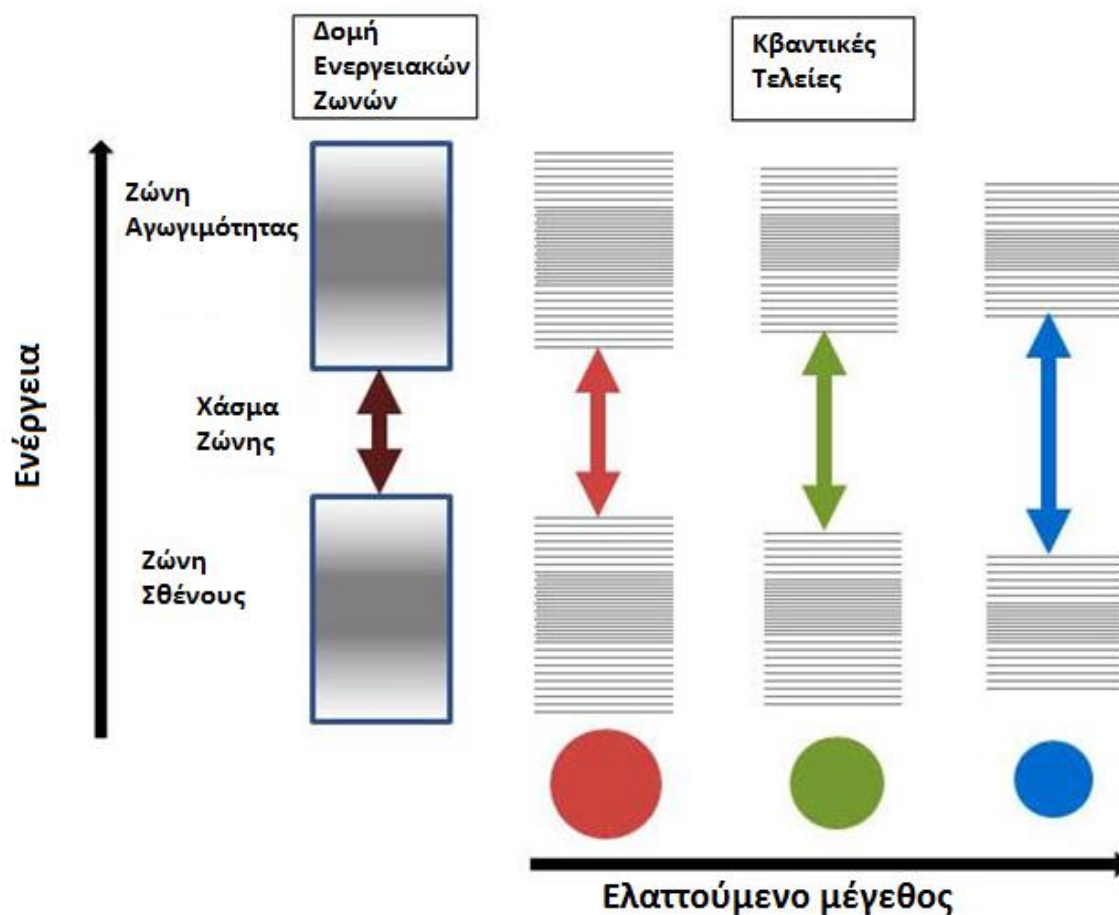
## 4. Κβαντικές τελείες

Τώρα είμαστε προετοιμασμένοι να συναντήσουμε τα πρώτα νανοσωμάτια αυτού του σταθμού μάθησης – της κβαντικής τελείας. Το ακόλουθο κείμενο έχει γραφεί για προπτυχιακούς φοιτητές, αλλά θα πρέπει να είστε σε θέση να κατανοήσετε το περισσότερο απ' αυτό αν χρησιμοποιήσετε τις γνώσεις που αποκομίσατε από αυτόν και τους προηγούμενους σταθμούς μάθησης, ιδιαίτερα από τον σταθμό VII (Ημιαγωγοί). **Δοκιμάστε το!**

**Οι κβαντικές τελείες** είναι νανοσωμάτια τα οποία συνήθως φτιάχνονται από ημιαγώγιμα υλικά με ιδιότητες φθορισμού (CdSe, ...). Είναι φτιαγμένα από ημιαγώγιμη νανοδομή η οποία περιορίζει την κίνηση των ηλεκτρονίων της ζώνης αγωγιμότητας ή τις τρύπες της ζώνης σθένους και στις 3 χωρικές διευθύνσεις. Ο περιορισμός μπορεί να γίνει με ηλεκτροστατικά δυναμικά, την παρουσία μιας διεπαφής ανάμεσα σε διαφορετικά ημιαγώγιμα υλικά, την παρουσία μιας ημιαγώγιμης επιφάνειας ή έναν συνδυασμό αυτών. Όλοι οι ημιαγωγοί έχουν ένα καθορισμένο ενεργειακό χάσμα, αλλά όταν η διάμετρος ενός κομματιού του υλικού είναι μικρότερη από την κβαντομηχανική κυματοσυνάρτηση των ηλεκτρονίων (ή με άλλα λόγια μικρότερη από την ακτίνα Bohr), η «συμπιεσμένη» κυματοσυνάρτηση του ηλεκτρονίου κάνει το ενεργειακό χάσμα ευρύτερο. Για να γίνει το άλμα από την γραμμή σθένους στην ζώνη αγωγιμότητας τώρα το ηλεκτρόνιο χρειάζεται περισσότερη ενέργεια.

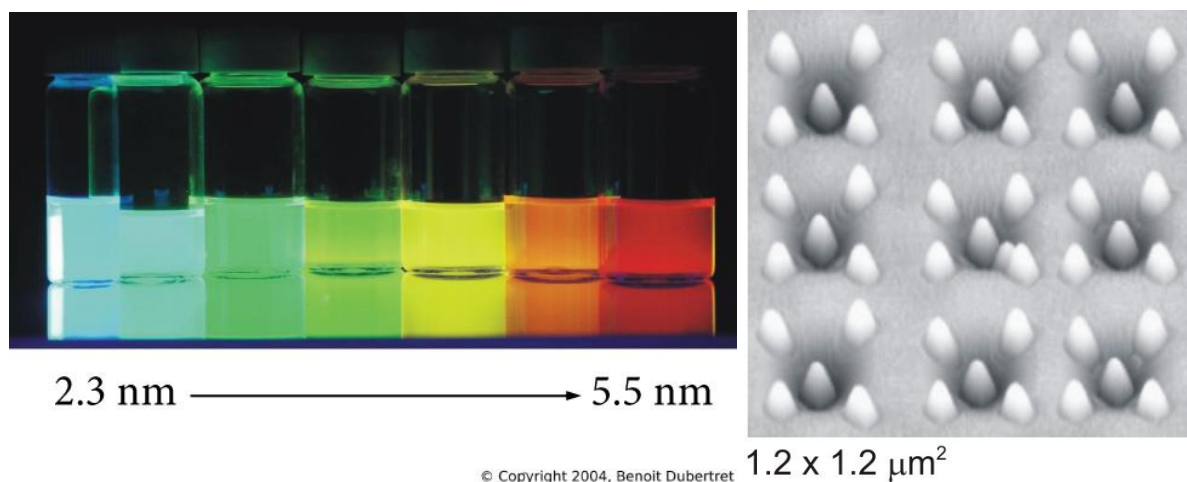
Οι κβαντικές τελείες έχουν συνήθως μέγεθος μικρότερο από 10 nm και ηλεκτρονικές ιδιότητες ανάμεσα στους ημιαγωγούς και σε διακριτά μόρια. Με απλά λόγια, οι κβαντικές τελείες είναι ημιαγωγοί των οποίων τα ηλεκτρονικά χαρακτηριστικά σχετίζονται στενά με το μέγεθος και το σχήμα των μεμονωμένων κρυστάλλων. Μια κβαντική τελεία έχει ένα διακριτό κβαντισμένο ενεργειακό φάσμα που εξαρτάται από το μέγεθός της

Ένα άμεσο οπτικό χαρακτηριστικό των κβαντικών τελειών είναι η πολυχρωμία τους – οι κβαντικές τελείες του ίδιου υλικού αλλά με διαφορετικά μεγέθη μπορούν να εκπέμπουν φως διαφορετικών χρωμάτων. Γενικά, όσο μικρότερο είναι το μέγεθος ενός κρυστάλλου, τόσο μεγαλύτερο το ενεργειακό χάσμα των ζωνών, και τόσο μεγαλύτερη η διαφορά ενέργειας ανάμεσα στην υψηλότερη ζώνη σθένους και την χαμηλότερη ζώνη αγωγιμότητας. Άρα περισσότερη ενέργεια θα χρειάζεται για να διεγείρει την τελεία, και επομένως, περισσότερη ενέργεια απελευθερώνεται όταν ο κρύσταλλος επιστρέφει στην θεμελιώδη του κατάσταση. Π.χ σε εφαρμογές με φθορίζουσα μπογιά, έχουμε υψηλότερες συχνότητες του εκπεμπόμενου φωτός μετά την διέγερση της τελείας, όσο μικρότερο είναι το μέγεθος του κρυστάλλου με αποτέλεσμα την μετατόπιση του χρώματος από κόκκινο σε μπλέ στο εκπεμπόμενο φως. Όσο μεγαλύτερη η τελεία, τόσο πιο κόκκινο (χαμηλής ενέργειας) το φάσμα φθορισμού. Μικρότερες τελείες εκπέμπουν πιο μπλε (πιο υψηλοενεργειακό) φως (Εικόνα 6).



Σχήμα 1. Η απόσταση των ενεργειακών επιπέδων σε κβαντικές τελείες λόγω του φαινομένου του κβαντικού περιορισμού, το χάσμα των ενεργειακών ζωνών αυξάνει όταν ελαττώνεται το μέγεθος του νανοκρυστάλλου. Δείτε περισσότερα στο: <http://www.sigmaaldrich.com/materials-science/nanomaterials/quantum-dots.html#sthash.93KSj2fZ.dpuf>.

Μέχρι τώρα, η χημεία, η φυσική και η επιστήμη υλικών έχουν προσφέρει μεθόδους για την παραγωγή κβαντικών τελειών και επιτρέπουν στενότερο έλεγχο παραγόντων οι οποίοι επηρεάζουν την μεγέθυνση και το μέγεθος των σωματιδίων, την διαλυτότητα και τις ιδιότητες εκπομπής (δείτε το σχήμα 7). Επιπλέον, οι κβαντικές τελείες είναι 1000 φορές πιο λαμπερές και λάμπουν για περισσότερο χρόνο απ' ό,τι οι συμβατικές φθορίζουσες βαφές.



Εικόνα 2. Φθορισμός σε διαφορετικά μήκη κύματος από το ίδιο υπεριώδες φως λόγω του κβαντικού περιορισμού σε ημιαγωγικές κβαντικές τελείες διαφορετικού μεγέθους (αριστερά). Fluorescence at different wavelengths from a single UV light due to quantum confinement in semiconductor quantum dots of different size (left). «Νησιά» γερμανίου φαίνονται σε υπόστρωμα πυριτίου που έχει μορφή πηγαδιών. (Zhong et al., Appl. Phys. Lett. 87, 133111 (2005))

Οι κβαντικές τελείες των ημιαγωγών, των μετάλλων και των οξειδίων των μετάλλων βρίσκονται στο επίκεντρο της έρευνας τα τελευταία χρόνια λόγω των μοναδικών ηλεκτρονικών, οπτικών, μαγνητικών και καταλυτικών ιδιοτήτων. Η δυνατότητα να ρυθμιστεί το μέγεθος των κβαντικών τελειών είναι επωφελής για πολλές εφαρμογές. Για παράδειγμα, μεγάλες κβαντικές τελείες παρουσιάζουν λιγότερο εμφανείς κβαντικές ιδιότητες. Στον αντίποδα, τα μικρότερα σωματίδια επιτρέπουν την αξιοποίηση των κβαντικών ιδιοτήτων. Η τεχνολογία των κβαντικών τελειών είναι μια από τις πιο φερέλπιδες υποψηφίους για χρήση στην κβαντική πληροφορία στερεάς κατάστασης. Εφαρμόζοντας χαμηλή τάση, μπορούμε να ελέγξουμε τη ροή των ηλεκτρονίων και έτσι να κάνουμε ακριβείς μετρήσεις του σπιν και άλλων ενδογενών ιδιοτήτων.

### Πιθανές

### ερευνητικές

### εργασίες:

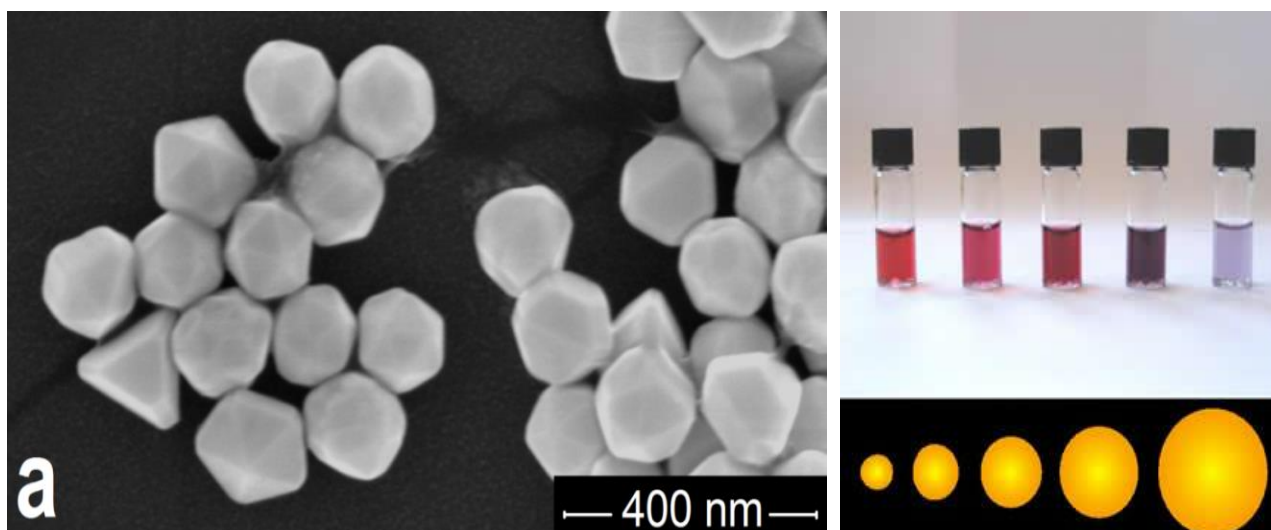
- Ψάξτε για περισσότερες πληροφορίες πάνω στην διαδικασία ανάπτυξης κρυστάλλων και συγκεκριμένα τι μας καθιστά ικανούς να έχουμε μεγάλο έλεγχο πάνω τους
- Ερευνήστε για άλλες πιθανές εφαρμογές των κβαντικών τελειών.

## 5. Μερικά παραδείγματα νανοσωματιδίων

Στο τελευταίο σκέλος αυτού του σταθμού μάθησης θα σας δώσουμε μία εποπτεία διαφόρων νανοσυστημάτων και νανοσωματιδίων.

### 5.α Μεταλλικά νανοσωματίδια

Ένα από τα πιο ενδιαφέροντα χαρακτηριστικά των μεταλλικών νανοσωματιδίων είναι το γεγονός ότι οι οπτικές τους ιδιότητες εξαρτώνται σημαντικά από το μέγεθος και το σχήμα των σωματιδίων. Ο χρυσός δείχνει κιτρινωπός όταν φως προσπέσει πάνω του, αλλά ο λεπτός χρυσός δείχνει μπλε όταν φως μεταδίδεται απ' αυτόν. Το χαρακτηριστικό μπλε χρώμα σταθερά μεταβάλλεται σε πορτοκαλί, μέσα από



αρκετούς τόνους μωβ και κόκκινου καθώς το μέγεθος του σωματιδίου ελαττώνεται στα  $\sim 3$  nm.

Σχήμα 3. Αριστερή εικόνα: Σωματίδια χρυσού διαφορετικού μεγέθους τα οποία έχουν εναποτεθεί από διάλυμα (πηγή: Vlassov et. al., *Solid State Communications*, 151, 688 – 692 (2011)). Δεξιά εικόνα: διαλύματα χρυσών νανοσωματιδίων σε διάφορα μεγέθη (πηγή: <http://www.nanoacademia.com>)

### Ερευνητική

### εργασία:

- Ερευνήστε για πληροφορίες σχετικά με άλλα παραδείγματα του πως το μέγεθος των νανοσωματιδίων αλλάζει τις ιδιότητες του υλικού.

## 5.β Κεντρικό κέλυφος ή νανοκέλυφος

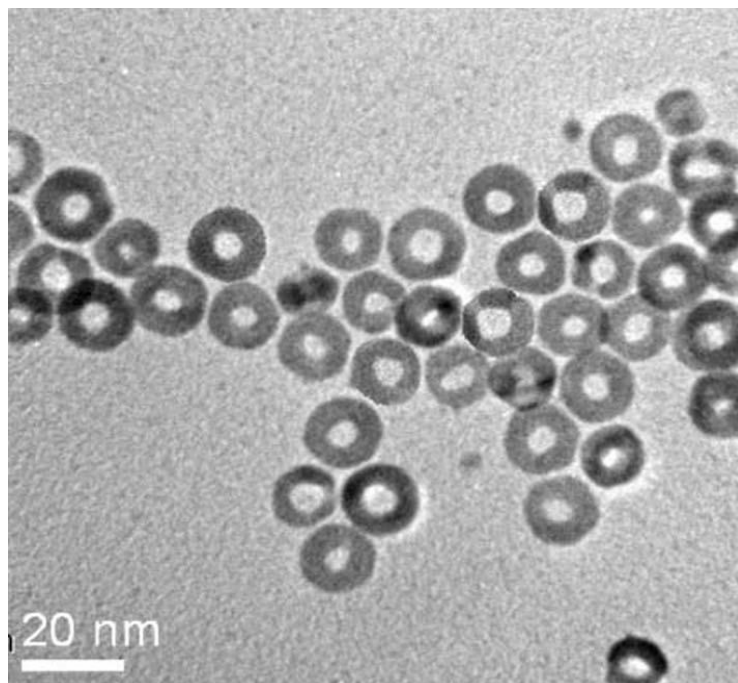
Το κεντρικό κέλυφος αποτελείται από έναν κεντρικό πυρήνα συγκεκριμένης σύστασης ο οποίος καλύπτεται από ένα κέλυφος μερικών nm από άλλο υλικό. Στις ΗΠΑ καλείται επίσης «νανοκέλυφος».

Μία από τις πιο ελπιδοφόρες εφαρμογές τους αφορά το πεδίο της βιολογίας. Γίνεται έρευνα για να δημιουργηθούν νανοκελύφη με υψηλή απορροφητικότητα σε βιολογικά χρήσιμα μήκη κύματος, αλλάζοντας την πυκνότητα των κελυφών. Συγκεκριμένα, στο εγγύς υπέρυθρο του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος (από τα 800 nm έως τα 2500 nm), το οποίο αντιστοιχεί με χαμηλή απορρόφηση από τον ιστό, ίσως να είναι χρήσιμα.

Στην βιβλιογραφία, δίδεται ιδιαίτερη σημασία στο νανοκέλυφος χρυσού με έναν διηλεκτρικό πυρήνα (σουλφίδιο του χρυσού, διοξείδιο του πυριτίου). Ο χρυσός είναι βιοσυμβατό υλικό, κάτι το οποίο το καθιστά χρήσιμο υλικό για ιατρικές εφαρμογές.

Τα νανοκελύφη ερευνώνται για:

- Θεραπεία για τον καρκίνο ανάλογη της χημειοθεραπείας αλλά χωρίς τις τοξικές παρενέργειες
- Φθηνή, γρήγορη ανάλυση δειγμάτων «τόσο μικρών όσο ένα μόριο».

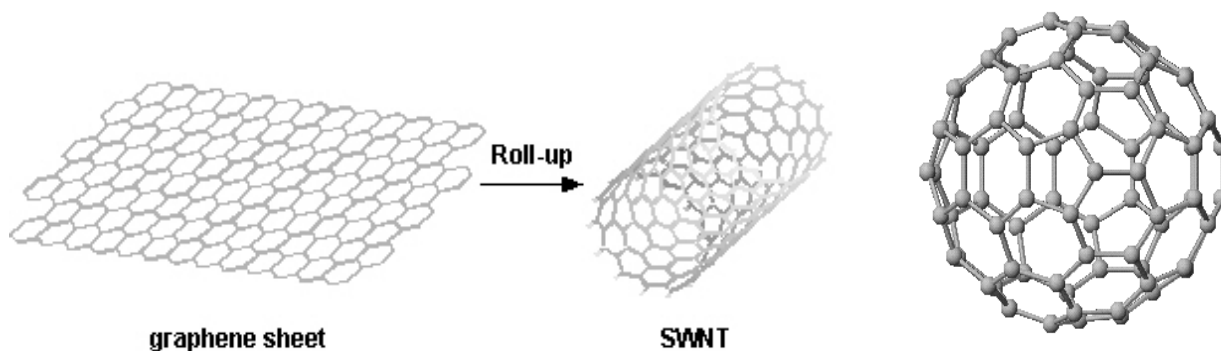


Σχήμα 9. Νανοκελύφη

**Ερευνητική εργασία:** ερευνήστε για τους λόγους για τους οποίους τα νανοκελύφη θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν στην θεραπεία του καρκίνου.

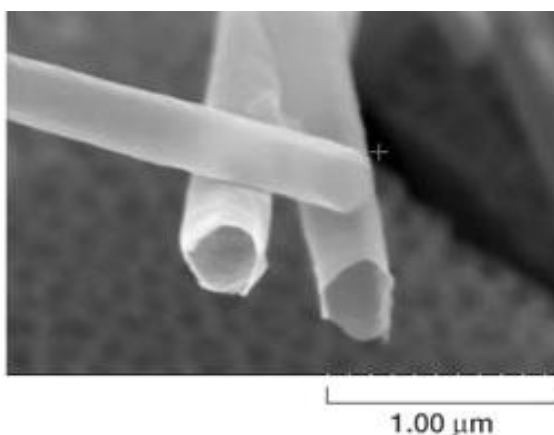
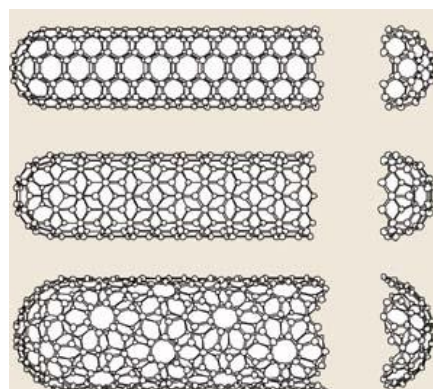
## 5.γ Νανοϋλικά άνθρακα

Τα νανοϋλικά άνθρακα περιλαμβάνουν φουλένια, νανοσωλήνες και μαύρο άνθρακα. Τα φουλένια είναι αλλοτροπική ένωση του άνθρακα με πολυγωνική δομή τα οποία φτιάχνονται με ακριβώς 60 άτομα άνθρακα. Τα νανοϋλικά άνθρακα χαρακτηρίζονται από το γεγονός ότι έχουν πολλά σημεία επαφής των οποίων οι επιφάνειες μπορούν επίσης να αξιοποιηθούν.



### Ιδιότητες νανοσωλήνων άνθρακα:

- Μονοδιάστατες επιφάνειες από εξαγωνικό πλέγμα άνθρακα οι οποίες τυλίγονται για να σχηματίσουν σωλήνες:
- Έχουν διάμετρο αρκετών nm
- Μπορούν να έχουν μήκος αρκετών χιλιοστών
- Πρακτικά χωρίς ατέλειες
- Τα άκρα τους μπορούν να κλειστούν με σφαιρικό νανοσωλήνα
- Ποικιλίες τους περιλαμβάνουν νανοσωλήνες με ένα ή πολλά τειχώματα, σχοινιά, συστάδες, διατάξεις.
- Δομή (χειραλικότητα, διάμετρος).



Σχήμα 4. Φύλλο γραφενίου και  $\text{SiC}$  νανοσωλήνες που αναπτύχθηκαν στο NASA Glenn

### Ερευνητική

- Μπορείτε να σκεφτείτε τρόπους με τους οποίους θα φτιάξετε μικρά κομμάτια γραφενίου στο σπίτι;
- Ψάξτε στο διαδίκτυο για πιθανές εφαρμογές του γραφενίου και των νανοσωλήνων άνθρακα.

### εργασία:

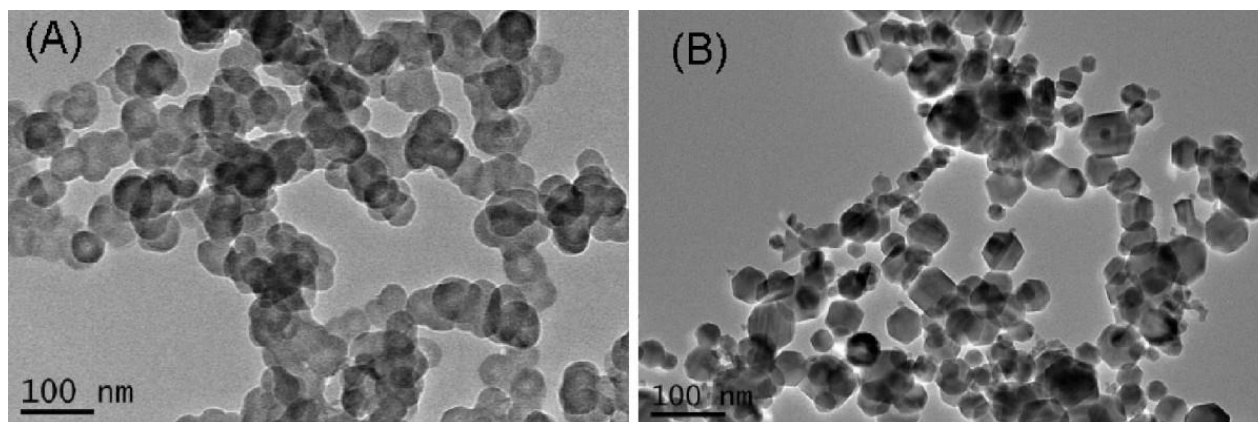
Ο μαύρος άνθρακας είναι μια μορφή άμορφου άνθρακα με μεγάλο λόγο επιφάνειας προς όγκο και είναι ένα από τα πρώτα υλικά με κοινές εφαρμογές. Συνήθως πρόκειται για συσσωματωμένη σκόνη με μέγεθος σωματίων της τάξης των 100 nm. Η συνολική παραγωγή ήταν περίπου 9000000 τόνοι το 2006. Ο μαύρος άνθρακας παράγεται από ατελή καύση από βαριά πετρελαϊκά προϊόντα (όπως υγρή καταλυτική πίσσα, πίσσα αιθυλενίου κ.α) και ένα μικρό ποσό φυτικού ελαίου.



Figure 5. Μαύρος άνθρακας

Η πιο συνήθης χρήση (70%) του μαύρου άνθρακα είναι σαν χρωστική και ενισχυτικό για τα λάστιχα των αυτοκινήτων. Ο μαύρος άνθρακας επίσης βοηθά στην αγωγή της θερμότητας από το πέλμα και την ζώνη του λάστιχου, ελαττώνοντας την θερμική ζημιά και αυξάνοντας τον χρόνο ζωής του ελαστικού. Πρακτικά, όλα τα ελαστικά προϊόντα στα οποία οι ιδιότητες εφελκυσμού και τριβής είναι βασικές, περιέχουν μαύρο άνθρακα, άρα είναι μαύρα σε χρώμα.

**Ερευνητική εργασία:** ψάξτε για μια εξήγηση σε μία από τις παραπάνω αναφορές του μαύρου άνθρακα.



Σχήμα 6. Εικόνες από ηλεκτρονικό μικροσκόπιο μετάδοσης για (A) νανοσωμάτια μαύρου άνθρακα (B) νανοσωμάτια Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (για σύγκριση).

Τα σωματίδια του μαύρου άνθρακα επίσης αξιοποιούνται σε μερικά απορροφητικά υλικά για ραντάρ και στο τόνερ του εκτυπωτή. Περίπου το 20% της παγκόσμιας παραγωγής χρησιμοποιείται σε ζώνες, λάστιχα και άλλα ελαστικά προϊόντα που δεν σχετίζονται με λάστιχα αυτοκινήτων. Γίνεται επίσης χρήση σαν χρωστική σε μελάνια, επικαλύψεις και πλαστικά. Ο μαύρος άνθρακας φυτικής προέλευσης χρησιμοποιείται σαν χρωστική για τροφές, γνωστή ως το πρόσθετο E153 στην Ευρώπη.

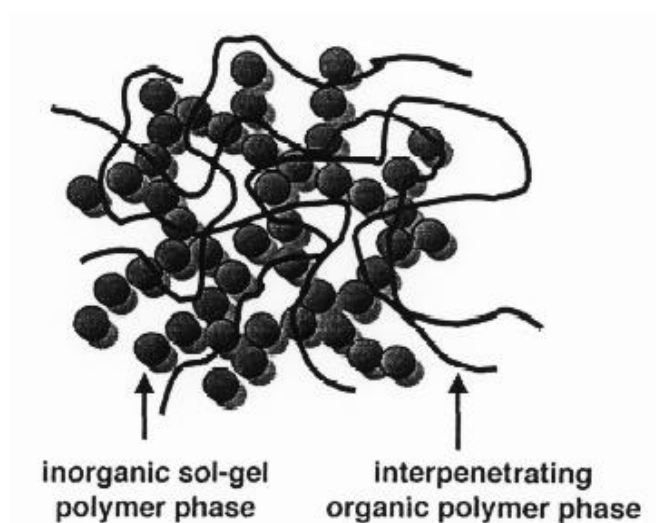


## 5.δ Ενεργητικά νανοσύνθετα

**Τα ενεργητικά νανοσύνθετα** είναι μία κατηγορία υλικών που έχουν συστατικά τόσο καυσίμου όσο και οξειδωτικά καλά αναμεμιγμένα και στα οποία τουλάχιστον ένα από τα συστατικά πληροί τον ορισμό του νανομεγέθους.

Πυροτεχνήματα τα οποία παράγονται από νανοσωμάτια είναι ένα παράδειγμα ενεργητικού νανοσύνθετου, στο οποίο μεταλλικά όξινα νανοσωμάτια αντιδρούν με μέταλλα και/ή άλλα καύσιμα σε πολύ εξώθερμες αντιδράσεις. Το καύσιμο συσσωρεύεται στους πόρους του στερεού πλέγματος ενώ το οξειδωτικό καλύπτει όλο, ή τουλάχιστον ένα μέρος, του σκελετοειδούς πλέγματος.

**Ερευνητική εργασία:** ψάξτε στο διαδίκτυο για χρήσεις των νανοσυνθέτων σε πυροτεχνικές εφαρμογές. Ποια είναι τα πιθανά πλεονεκτήματα αυτής της τεχνολογίας έναντι των συμβατικών υλικών;



Σχήμα7. Σχηματική αναπαράσταση της μικροδομής ενός υβριδικού υλικού  $F_{2O_3}/Viton$  το οποίο παρήχθη με τη μέθοδο sol-gel

## 5.ε Νανοαφρός

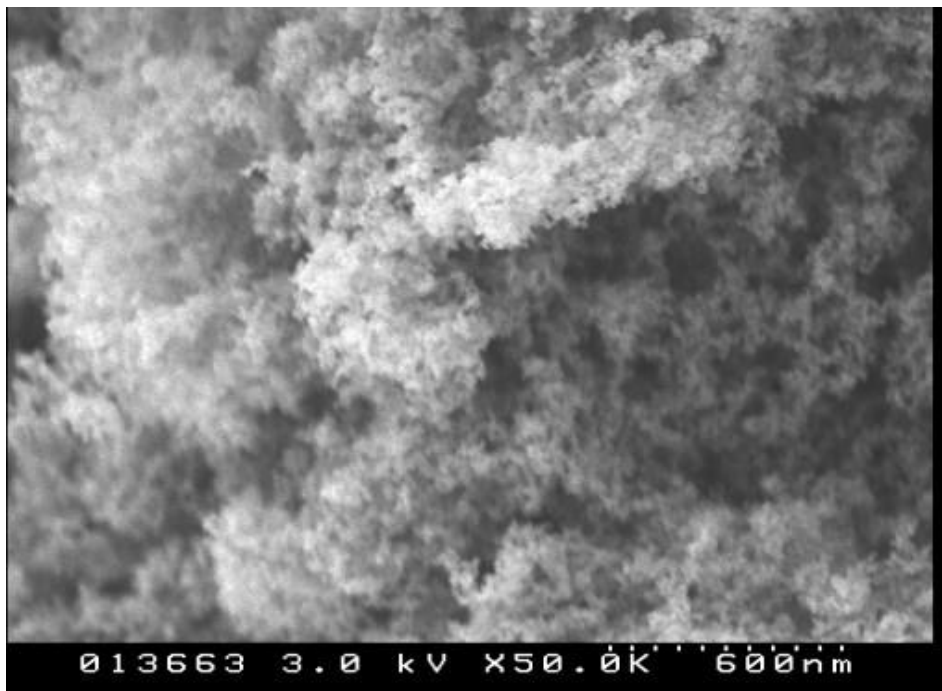
Οι νανοαφροί είναι μία κατηγορία από πορώδη νανοϋλικά, τους αφρούς, οι οποίοι περιέχουν ένα σημαντικό πληθυσμό από πόρους με διαμέτρους μικρότερες από 100 nm. Τα αεροτζέλ είναι ένα παράδειγμα νανοαφρών.

Το 2006, ο δρ. Bryce Tarran από το Los Alamos National Laboratory ανακάλυψε μια τεχνική για την παραγωγή μεταλλικών νανοαφρών αναφλέγοντας σφαιρίδια από ενεργητικά μεταλλικά σύμπλοκα. Οι νανοαφροί από σίδηρο, κοβάλτιο, νικέλιο, χαλκό, ασήμι και παλλάδιο έχουν κατασκευαστεί με βάση αυτήν την τεχνική. Αυτά τα υλικά επιδεικνύουν πυκνότητες της τάξης των  $11 \text{ mg/cm}^3$  και επιφάνειες της τάξης των  $258 \text{ m}^2/\text{g}$ . Αυτοί οι αφροί είναι αποτελεσματικοί καταλύτες και χρησιμοποιούνται για άλλες εφαρμογές.

### Ερευνητική

- Ψάξτε στο διαδίκτυο για εφαρμογές των νανοαφρών  
- Υποθέστε ότι έχουμε μεγεθύνει ένα τυπικό σύμπλεγμα νανοαφρού έτσι ώστε να έχει διάμετρο 1mm. Ποια θα ήταν η απόσταση, προσεγγιστικά ανάμεσα σε δύο γειτονικά συμπλέγματα;

### εργασία:



Σχήμα 8. Εικόνα από μικροσκόπιο σάρωσης ηλεκτρονίων για νανοαφρό άνθρακα. Το πιο ελαφρύ στερεό που γνωρίζουμε ( πυκνότητα =  $2\text{mg/cm}^3$ ), αυτή η καινοτόμα αλλοτροπική ένωση του άνθρακα έχει περίπλοκες μαγνητικές ιδιότητες οι οποίες αντικατοπτρίζουν την παράδοξη δομή του. Ο αφρός είναι μία δενδριτική συγκέντρωση σφαιρών μεγέθους περίπου  $6\text{nm}$ , καθεμία από τις οποίες περιέχει, κουλουριασμένα, φύλλα άνθρακα τα οποία έχουν σχήμα υπερβολοειδούς καμπύλης ενώ σε μερικά άτομα άνθρακα έχουμε μη συζευγμένα ηλεκτρονιακά σπιν

## 5.στ

## Νανολειβάδι

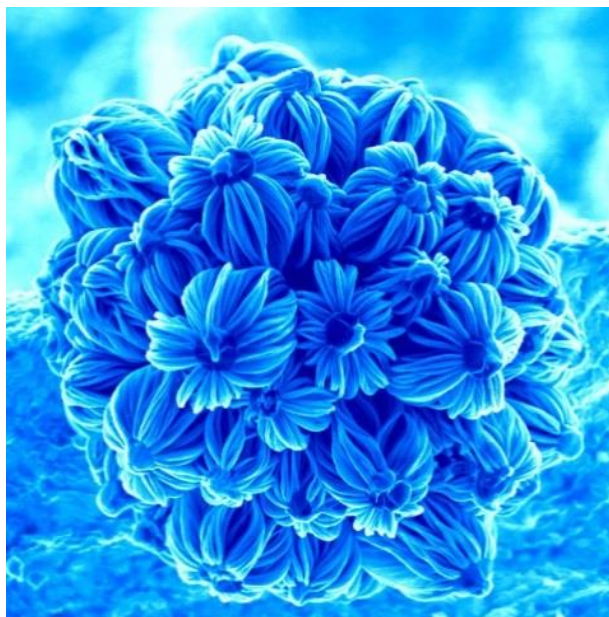
Ένας υπερπυκνωτής (SC) ή κάποιες φορές ένας ultra-πυκνωτής είναι ένας ηλεκτροχημικός πυκνωτής μεγάλης χωρητικότητας, η οποία φθάνει μέχρι τα 10000 Farad σε τάση 1.2 Volt η οποία γεφυρώνει το χάσμα ανάμεσα σε ηλεκτρολυτικούς πυκνωτές και επαναφορτιζόμενες μπαταρίες. Τυπικά, αποθηκεύουν 10 με 100 φορές περισσότερη ενέργεια ανα μονάδα όγκου ή μάζας απ' ότι οι ηλεκτρολυτικοί πυκνωτές και μπορούν να δεχθούν ή να προσφέρουν φορτίο πολύ πιο γρήγορα απ' ότι οι μπαταρίες καθώς και να αντέξουν πολλούς περισσότερους κύκλους φόρτισης και εκφόρτισης από τις επαναφορτιζόμενες μπαταρίες. Είναι, παρ'όλα αυτά 10 φορές μεγαλύτεροι από τις συμβατικές μπαταρίες για ένα δεδομένο φορτίο.

Στους υπερπυκνωτές, η ενέργεια αποθηκεύεται επειδή τα ηλεκτρόδια καλύπτονται με ένα πορώδες υλικό το οποίο απορροφά ιόντα σαν σφουγγάρι, συνήθως ενεργό άνθρακα. Οι υπερπυκνωτές νανολειβάδια αποθηκεύουν ιόντα σε μαγγανικό οξειδίο ( $\text{MnO}$ ), ένα υλικό με πολύ μεγαλύτερη χωρητικότητα για ιόντα απ' ότι ο ενεργός άνθρακας. Ως αποτέλεσμα, το νανολειβάδι έχει 10 φορές μεγαλύτερη απόδοση από το  $\text{MnO}$  μόνο του και μπορεί να αποθηκεύσει το διπλάσιο φορτίο από ότι βασισμένα σε άνθρακα ηλεκτρόδια σε υπάρχοντες ultra-πυκνωτές.

**Ερευνητική εργασία:** πως θα μπορούσαν να συνδυαστούν οι υπερπυκνωτές με ηλιακούς συλλέκτες ή ανεμόμυλους για να πάρουμε μία ισχυρή τροφοδότηση ενέργειας;

Το Ερευνητικό Ινστιτούτο Χημικής Έρευνας στο Πεκίνο, Κίνα, και συνεργάτες τους στο πανεπιστήμιο του Πεκίνο, δημιούργησαν ένα νανολειβάδι από μικροσκοπικές δομές, χνουδωτά λουλούδια από οξειδίο του μαγγανίου ( $\text{MnO}$ ) καθένα από τα οποία είχε διαστάσεις  $100\text{nm}$ , κατά μήκος ενός χώρου με

‘γρασίδι’ από νανοσωλήνες το οποίο αναπτύχθηκε σε μεταλλικό φύλλο από ταντάλιο. (δείτε την παρακάτω εικόνα).



Σχήμα9. Η νικήτρια εικόνα του φωτογραφικού διαγωνισμού του 2004 στο Τμήμα Μηχανολογίας λήφθηκε από την Ghim Wei Ho στο κέντρο Νανοεπιστήμης. Η 3-διάστατη νανοδομή στη φωτογραφία της είναι φτιαγμένη από υλικό βασισμένο στη σιλικόνη. Αναπτύχθηκε χρησιμοποιώντας μια διαδικασία απόθεσης χημικών ατμών. Το υλικό είναι τόσο άμορφο όσο και κρυσταλλικό ως προς τη φύση του. Η εικόνα ελήφθη με χρήση ενός ηλεκτρονικού μικροσκοπίου σάρωσης.

## Συμπεράσματα

Σε αυτόν τον Σταθμό μελετήσαμε μια κατηγορία κβαντομηχανικών συστημάτων που καλούνται νανοσωμάτια. Τα νανοσωμάτια αποτελούνται από πολλά άτομα ή μόρια και γενικά δεν είμαστε σε θέση να διερευνήσουμε αυτά τα συστήματα χρησιμοποιώντας ακριβείς μαθηματικές σχέσεις. Παρόλα αυτά, τα νανοσωμάτια μπορούν να παραχθούν και να μελετηθούν πειραματικά. Οι ιδιότητες των νανοσωματιδίων επιτρέπουν πολλές ελπιδοφόρες εφαρμογές, μερικές από τις οποίες έχουν ήδη υλοποιηθεί.

## Έννοιες στον Σταθμό Μάθησης XI

Ολοκληρώστε συμπληρώνοντας τις έννοιες που λείπουν

Κλασσικές έννοιες

.....

Κβαντικές έννοιες

Δείτε επίσης τον Σταθμό Μάθησης VII

Οι Φυσικές ιδιότητες των υλικών αλλάζουν καθώς το μέγεθος πλησιάζει το .....

Λόγω του ότι τα νανοσωμάτια απαρτίζονται από πολλά άτομα, αλλά όχι τόσα όσα στα στερεά, οι ιδιότητές τους εξαρτώνται από το .....

Οι κβαντικές τελείες έχουν ιδιότητες που βρίσκονται ανάμεσα στους μακροσκοπικούς ημιαγωγούς και διακριτά μόρια. Έχουν ένα ..... Ενεργειακό φάσμα. Αυτό συμβαίνει διότι τα κύματα των ηλεκτρονίων είναι παγιδευμένα: όταν η διάμετρος του κομματιού του υλικού είναι ..... από την ακτίνα Bohr, η «συμπιεσμένη» κυματοσυνάρτηση του ηλεκτρονίου αναγκάζει το το ενεργειακό χάσμα ζώνης να γίνει ευρύτερο.

Καθώς το μέγεθος των κβαντικών τελειών ..... η συχνότητα του εκπεμπόμενου φωτός γίνεται υψηλότερη.