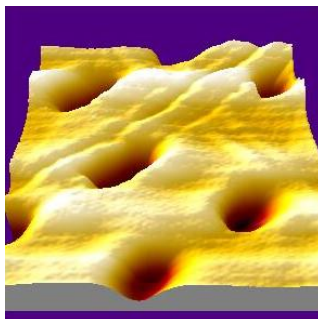


## Κβαντική Φυσική

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

### Μέρος 2

## ΚΒΑΝΤΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ



### Μαθησιακός σταθμός X: Μικροσκόπιο Ατομικής Δύναμης (ΜΑΔ)

ΜΕΤΑΦΡΑΣΗ:



[www.scientix.eu](http://www.scientix.eu)



Lifelong  
Learning  
Programme



Το Quantum Spin-Off χρηματοδοτείται από την Ευρωπαϊκή Ένωση υπό το πρόγραμμα LLP Comenius (540059-LLP-1-2013-1-BE-COMENIUS-CMP). Ernst Meyer Στοιχεία επικοινωνίας: [ernst.meyer@unibas.ch](mailto:ernst.meyer@unibas.ch)

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

## Πίνακας περιεχομένων

<b>ΜΑΘΗΣΙΑΚΟΣ ΣΤΑΘΜΟΣ Χ: ΜΙΚΡΟΣΚΟΠΙΟ ΑΤΟΜΙΚΗΣ ΔΥΝΑΜΗΣ (ΜΑΔ)</b>	<b>58</b>
<b>1 Γενικά</b>	<b>58</b>
<b>2 Λειτουργική αρχή του ΜΑΔ:</b>	<b>59</b>
<b>3 Λύσεις:</b>	<b>61</b>
<b>4 Έννοιες στον Μαθησιακό Σταθμό 10</b>	<b>62</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 αναμείξετε, 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:

Meyer E. (2015). Quantum SpinOff Learning Stations. Τμήμα Φυσικής, Πανεπιστήμιο της Βασιλείας, Ελβετία.

# Μαθησιακός σταθμός Χ: Μικροσκοπία Ατομικής Δύναμης (ΜΑΔ)

Στον μαθησιακό σταθμό VIII παρουσιάσαμε το σαρωτικό μικροσκόπιο σήραγγας (ΣΜΣ) και τις αρχές λειτουργίας του. Μία επιπλέον εξέλιξη στην ανάπτυξη του ΣΜΣ είναι η μικροσκοπία ατομικής δύναμης, συνοπτικά: ΜΑΔ. Σε αυτόν τον μαθησιακό σταθμό θα καταλάβετε ποια είναι τα πλεονεκτήματα της ΜΑΔ σε σύγκριση με την ΣΜΣ.

Αναφορές σε εργασίες (που χρησιμοποιήθηκαν στην Ελβετία) για νανομηχανικές διερευνήσεις ιστών όπως αυτός του στήθους με την ΜΑΔ συμπεριλαμβάνονται στις οδηγίες για τον διδάσκοντα. Αυτή η μέθοδος έχει ανοίξει νέους δρόμους για την καλύτερη κατανόηση και διάγνωση ασθενειών όπως ο καρκίνος. Αυτό το θέμα θα μπορούσε να είναι ιδιαίτερα ενδιαφέρον για κοπέλες, επειδή οι κοπέλες και οι γυναίκες φαίνεται ότι έλκονται περισσότερο από τις νέες τεχνολογίες αν τις αναγνωρίσουν ως όφελος για την κοινωνία, για παράδειγμα στον τομέα της υγείας.

Μια περαιτέρω εξέλιξη του σαρωτικού μικροσκοπίου σήραγγας (ΣΜΣ) είναι το μικροσκόπιο ατομικής δύναμης, εν συντομία ΜΑΔ. Θα καταλάβετε ποια είναι τα πλεονεκτήματα του ΜΑΔ συγκριτικά με το ΣΜΣ.

## 1 Γενικά

Η αγωγιμότητα των περισσότερων υλικών στην καθημερινή χρήση είναι αρκετά μικρή. Οι επιφάνειες μονώνουν ως επί το πλείστον επειδή είναι επικαλυμμένες με οξειδία ή οργανική επικάλυψη.

### Άσκηση 1:

Χρησιμοποιώντας κάποιο όργανο μέτρησης (π.χ. ένα ψηφιακό πολύμετρο της Fluke ή έναν ανάλογο μετρητή ρεύματος και τάσης) προσπαθήστε να μετρήσετε τις αντιστάσεις των επιφανειών, π.χ. μιας επιφάνεια εργασίας, ενός χρυσού δαχτυλιδιού ή χρυσού κοσμήματος, του μεταλλικού σκελετού τραπεζιών και καρεκλών κ.λπ. Αυξήστε την πίεση με τον αισθητήρα μέτρησης ή κάντε μικρές χαραγματιές σε μεταλλικές επιφάνειες. Παρατηρείτε κάποια διαφορά; Πώς σχετίζεται η αντίσταση με την αγωγιμότητα;

Το ρεύμα στη σήραγγα <sup>1</sup>που απαιτείται για τη λειτουργία του ΣΜΣ πρέπει να διατρέχει το δείγμα. Κάτι τέτοιο είναι δυνατό μόνο αν τα δείγματα έχουν επαρκώς υψηλή αγωγιμότητα ή χαμηλή αντίσταση.

<sup>1</sup> Ρεύμα σήραγγας: Σύμφωνα με υπολογισμούς της κβαντικής μηχανικής ένα ρεύμα σήραγγας ρέει μέσω ενός μονωτικού στρώματος αν το πάχος του μονωτή βρίσκεται εντός του εύρους του νανομέτρου.

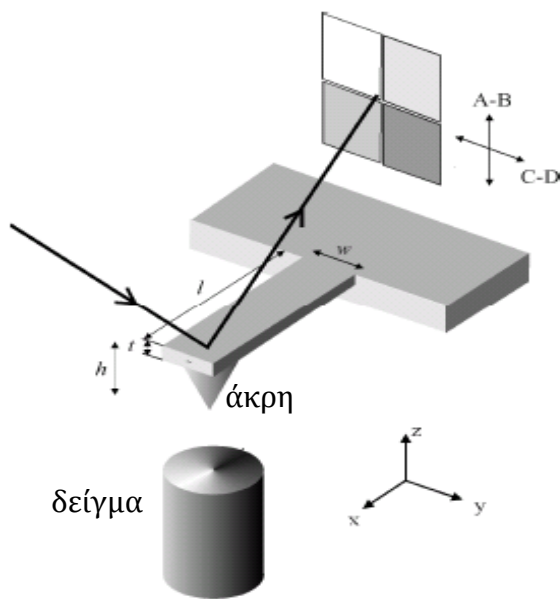
## 2 Λειτουργική αρχή του ΜΑΔ:

Το μικροσκόπιο ατομικής δύναμης (ΜΑΔ) βασίζεται σε μέτρηση δυνάμεων αντί για μέτρηση ρεύματος. Για το λόγο αυτό χρησιμοποιείται ένα φυλλοειδές ελατήριο <sup>2</sup> με ακίδα, το οποίο σαρώνει τις επιφάνειες με μια καθορισμένη πίεση κατά την επαφή.

### Άσκηση 2:

Προσπαθήστε να υπολογίσετε το μέγεθος των δυνάμεων μεταξύ μεμονωμένων ατόμων.

Συμβουλή: Η ενέργεια του χημικού δεσμού των μορίων κυμαίνεται μεταξύ  $10^{-19}$  J. Η τυπική κλίμακα μεγέθους για τις ενώσεις κυμαίνεται μεταξύ  $10^{-10}$  m.



Σχήμα 1:  
Λειτουργική αρχή του ΜΑΔ:

Όπως φαίνεται στο σχήμα 1, το φυλλοειδές ελατήριο, επονομαζόμενο και πρόβολος, μεταφέρεται κοντά στο δείγμα. Όπως και με το ΣΜΣ, πραγματοποιείται η μέτρηση ενός σήματος στην εγγύτερη περιοχή της επιφάνειας. Η απόκλιση του φυλλοειδούς ελατηρίου μετρείται με την απόκλιση μιας δέσμης φωτός λέιζερ. Για το σκοπό αυτό, μια δέσμη φωτός λέιζερ αντανακλάται από το φυλλοειδές ελατήριο. Η δέσμη που αντανακλάται ανιχνεύεται από έναν τεταρτημοριακό φωρατή (τέσσερις παρακείμενοι φωτοδιόδοι<sup>3</sup>). Με τη μέτρηση των διαφορικών σημάτων<sup>4</sup> μπορεί να καθοριστεί η απόκλιση του προβόλου.

<sup>2</sup> Φυλλοειδές ελατήριο: Μια λεπτή λωρίδα (πάχους περίπου 5-10 μικρομέτρων) με μήκος κάποιων εκατοντάδων μικρομέτρων και σφριγμένη στη μία πλευρά

<sup>3</sup> Οι φωτοδιόδοι είναι φωτοευαίσθητα ηλεκτρονικά εξαρτήματα. Κατά κανόνα κατασκευάζονται από σιλκόνη με ένα εμπλουτισμένο επιφανειακό επίπεδο που προκαλεί διαχωρισμό φορτίων.

<sup>4</sup> Διαφορικά σήματα παράγονται με την αφαίρεση σημάτων από παρακείμενες φωτοδιόδους. Για τη μέτρηση της τυπικής δύναμης η διαφορά καθορίζεται μεταξύ της άνω και κάτω φωτοδιόδου.

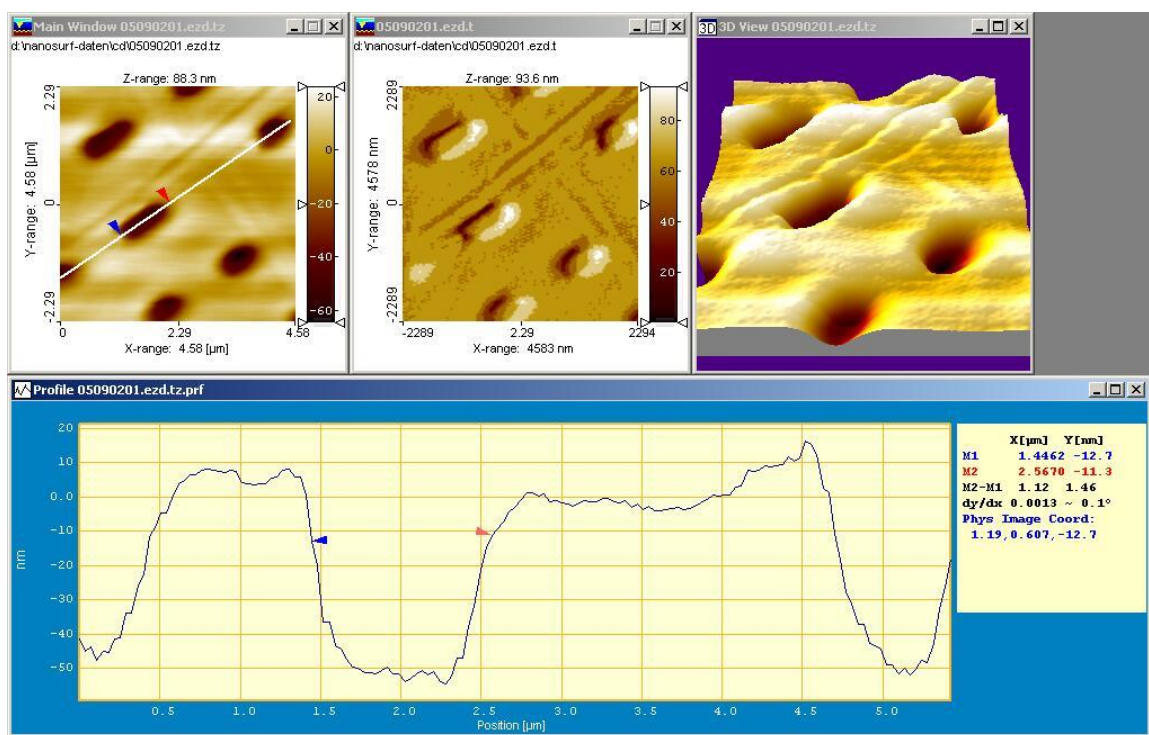
### Άσκηση 3:

Κατασκευάστε ένα πρότυπο πρόβολο με μια χάρτινη ή μεταλλική ακίδα. Δείτε πώς λυγίζει η λωρίδα αν η ακίδα πλησιάσει την κάθετη επιφάνεια. Τι συμβαίνει αν η ακίδα κινηθεί παράλληλα προς την επιφάνεια;

### Άσκηση 4:

Στην άσκηση 2 υπολογίσατε τις δυνάμεις μεταξύ των ατόμων. Τι μέγεθος σταθεράς ελατηρίου  $k$  του φυλλοειδούς ελατηρίου στο  $N/m$  θα επιλέγατε αν γνωρίζατε ότι η απόκλιση της δέσμης λέιζερ μπορεί ακόμα να μετρήσει αποκλίσεις στο εύρος του 1 νανόμετρου ( $10^{-9}$  m).

Το μικροσκόπιο ατομικής δύναμης είναι το πιο επιτυχημένο μέλος της οικογένειας των μικροσκοπιών σάρωσης ακίδας. Ως παράδειγμα εφαρμογής κοιτάξτε την εικόνα ενός CD



όπως φαίνεται στο ΜΑΔ.



Σχήμα 2: Μετρήσεις ενός δίσκου CD με ΜΑΔ . Ο εκτιμώμενος χρόνος για να λάβουμε την 3-διάστατη εικόνα είναι 10 λεπτά.

**Άσκηση 5:**

Προσπαθήστε να καθορίσετε το μήκος, πλάτος ή βάθος των οπών (τρύπες) του σχήματος 2.

**3 Λύσεις:**

**1:** Με το ψηφιακό πολύμετρο μπορούμε να παρατηρήσουμε αντιστάσεις σε εύρος λίγων ohms σε εξαιρετικά αγωγήμα δείγματα. Οι περισσότερες επιφάνειες (ξύλο, πλαστικό) δεν έχουν μετρήσιμη αντίσταση. Σε οξειδωμένες επιφάνειες (ατσάλι, αλουμίνιο) η επίστρωση οξειδίου μπορεί να μειωθεί με το χάραγμα της επιφάνειας, που επιτρέπει την παρατήρηση μικρότερων αντιστάσεων σε εύρος kilo-ohm ή ohm.

**2:**

Η σχέση ανάμεσα στην ενέργεια και το τυπικό μήκος δεσμού παρέχει μια πολύ καλή εκτίμηση των δυνάμεων μεταξύ των ατόμων:

$$F=dE/dx = 10^{-19} \text{ J} / 10^{-10} \text{ m} = 10^{-9} \text{ N} = 1\text{nN}$$

Π.χ. οι δυνάμεις για το μαγειρικό άλας (NaCl) μεταξύ των ατόμων Na και των ατόμων Cl βρίσκονται στο εύρος ενός nano-newton. Άλλοι τύποι δεσμών έχουν μικρότερες δυνάμεις. Για έναν δεσμό ή γέφυρα υδρογόνου οι δυνάμεις βρίσκονται στο εύρος του  $10^{-12}\text{N}=1\text{pN}$ .

**3:**

Η λωρίδα κάμπτεται όταν πλησιάζει μια επιφάνεια. Αν η λωρίδα κινείται παράλληλα προς την επιφάνεια, μπορεί να παρατηρηθεί και συστροφή της λωρίδας που προκαλείται λόγω των δυνάμεων τριβής.

**4:**

Αν πρόκειται να μετρηθεί μια δύναμη  $10^{-9}\text{N}=1\text{nN}$  και μια απόκλιση της τάξης του  $10^{-9}\text{m}$  είναι δυνατό να μετρηθεί, τότε η ελατηριακή σταθερά που θα επιλεγεί πρέπει να είναι  $k=F/x=1\text{N/m}$  ή μικρότερες τιμές. Κατά κανόνα, ελατηριακές σταθερές της τάξης του  $k=0.05\text{-}1\text{N/m}$  χρησιμοποιούνται κατά τη στατική λειτουργία. Σε δυναμική λειτουργία (ταλάντωση ενός φυλλοειδούς ελατηρίου) μπορούν να χρησιμοποιηθούν και μεγαλύτερες ελατηριακές σταθερές, επειδή την ευαισθησία βελτιώνει η μεγιστοποίηση της αντήχησης.

**5:**

Το μήκος της οπής που έχει επιλεγεί είναι 1 μικρόμετρο και το πλάτος περίπου 0.5 μικρόμετρο. Το βάθος μπορεί να προσδιοριστεί από το προφίλ και είναι περίπου 50-70 nm.

## Έννοιες στον Μαθησιακό Σταθμό Χ

Σε αυτόν τον μαθησιακό σταθμό δεν εμφανίστηκαν καθόλου εντελώς νέες έννοιες. Έχουμε χρησιμοποιήσει κατά κύριο λόγο τις έννοιες που χρησιμοποιήθηκαν στον σταθμό μάθησης VIII.