

## Σπόροι που αναπηδούν - Ένα μοντέλο για τις αλλαγές φάσης και τις καταστάσεις αστάθειας.

Παρακαλούμε να διαβάσετε τις γενικές οδηγίες που υπάρχουν στον ξεχωριστό φάκελο πριν ξεκινήσετε αυτό το πρόβλημα.

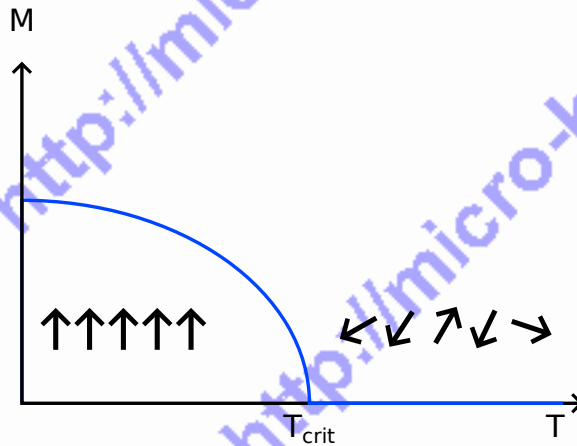
### Εισαγωγή

Οι αλλαγές φάσης/κατάστασης είναι γνωστές από την καθημερινή ζωή, για παράδειγμα το νερό που υπάρχει σε στερεή, υγρή και αέρια μορφή. Η διαδικασία που παρατηρείται κατά την αλλαγή από μια κατάσταση σε άλλη ονομάζεται αλλαγή ή μετάβαση φάσης, οπότε η συλλογική συμπεριφορά των μορίων στο υλικό αλλάζει. Η μετάβαση φάσης συνδέεται πάντα με μια θερμοκρασία που ονομάζεται θερμοκρασία μετάβασης στην οποία γίνεται η αλλαγή της κατάστασης. Στο παράδειγμα που δόθηκε στην αρχή της παραγράφου κρίσιμες θερμοκρασίες είναι η θερμοκρασία πήξης και η θερμοκρασία βρασμού του νερού.

Οι μεταβάσεις φάσεων είναι ωστόσο ακόμη πιο διαδεδομένες σε άλλα συστήματα όπως για παράδειγμα στους μαγνήτες ή στους υπεραγωγούς, όπου κάτω από μια θερμοκρασία μετάβασης η μακροσκοπική κατάσταση του υλικού αλλάζει από παραμαγνητικό σε σιδηρομαγνητικό (στην περίπτωση των μαγνητών) και από κανονικό αγωγό σε υπεραγωγό (στην περίπτωση των υπεραγωγών).

Όλες αυτές οι μεταβάσεις μπορούν να περιγραφούν σε ένα κοινό πλαίσιο εισάγοντας την αποκαλούμενη παράμετρο τάξης. Για παράδειγμα στον μαγνητισμό η παράμετρος τάξης σχετίζεται με την ευθυγράμμιση των μαγνητικών ροπών των ατόμων από ένα εξωτερικό μαγνητικό πεδίο.

Στις λεγόμενες Συνεχείς Μεταβάσεις Φάσης η παράμετρος τάξης θα παίρνει πάντα την τιμή μηδέν όταν η θερμοκρασία είναι μεγαλύτερη από την κρίσιμη θερμοκρασία ενώ για κάθε θερμοκρασία μικρότερη από την κρίσιμη η παράμετρος τάξης παίρνει μη μηδενική τιμή που μεγαλώνει καθώς μικραίνει η θερμοκρασία. Η θερμοκρασία μετάβασης μιας Συνεχούς Μετάβασης Φάσης ονομάζεται Κρίσιμη Θερμοκρασία. Στο σχήμα 1 που ακολουθεί φαίνεται ένα παράδειγμα που αφορά την περίπτωση ενός μαγνήτη. Τα βελόνια στο σχήμα αναπαριστούν τη διάταξη των μαγνητικών ροπών των ατόμων. Για θερμοκρασίες μικρότερες της κρίσιμης το υλικό βρίσκεται στη σιδηρομαγνητική κατάσταση με τις μαγνητικές ροπές των ατόμων να είναι ευθυγραμμισμένες. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα το υλικό να συμπεριφέρεται ως μαγνήτης. Αντίθετα, για θερμοκρασίες μεγαλύτερες της κρίσιμης, το υλικό βρίσκεται στην παραμαγνητική κατάσταση με τις μαγνητικές ροπές των ατόμων σε τυχαίο προσανατολισμό. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα το υλικό να συμπεριφέρεται ως μη μαγνητισμένο δηλαδή με μηδενικό μαγνητισμό.



Εικόνα 1: Γραφική αναπαράσταση της παραμέτρου τάξης ( $M$ ) σε σχέση με τη θερμοκρασία σε μια μετάβαση φάσης. Κάτω από την κρίσιμη θερμοκρασία  $T_{\text{crit}}$  η παράμετρος τάξης αυξάνεται και είναι μη μηδενική, ενώ είναι ίση με μηδέν σε θερμοκρασίες μεγαλύτερες της  $T_{\text{crit}}$ .

Στις Συνεχείς Μεταβάσεις Φάσης γενικά παρατηρείται ότι η παράμετρος τάξης που σχετίζεται με κάποια μετάβαση υπακούει σε μια εκθετική σχέση. Για παράδειγμα στον μαγνητισμό η παράμετρος τάξης, που είναι η μαγνήτιση  $M$  για θερμοκρασίες μικρότερες από την κρίσιμη,  $T_{\text{crit}}$ , δίνεται από την σχέση:

$$M \begin{cases} \sim (T_{\text{crit}} - T)^b, & M < T_{\text{crit}} \\ = 0, & M > T_{\text{crit}} \end{cases} \quad (1)$$

όπου  $T$  είναι η θερμοκρασία. Το εντυπωσιακό είναι ότι αυτή η συμπεριφορά έχει παγκόσμια ισχύ, δηλαδή ο εκθέτης αυτής της σχέσης είναι ο ίδιος για πολλές και διαφορετικές μεταβάσεις φάσης.

## Στόχος

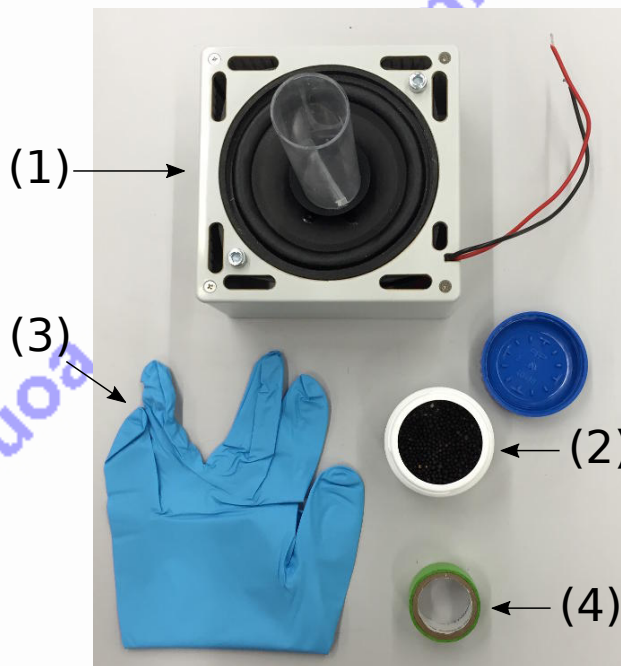
Θα μελετήσουμε ένα απλό παράδειγμα, στο οποίο μπορούν να ερευνηθούν κάποια από τα χαρακτηριστικά των Συνεχών Μεταβάσεων Φάσης. Συγκεκριμένα στο παράδειγμα αυτό θα διερευνήσετε πως μια ασταθής κατάσταση καθορίζει τη συλλογική συμπεριφορά των σωματιδίων και οδηγεί σε μετάβαση φάσης και ακόμα πως μια μακροσκοπική αλλαγή κατάστασης εξαρτάται από τη διέγερση των σωματιδίων.

Στις συνηθισμένες περιπτώσεις μεταβάσεων φάσης η διέγερση των σωματιδίων καθορίζεται από την θερμοκρασία. Στην περίπτωση που θα μελετήσετε, η διέγερση είναι η κινητική ενέργεια των σωματιδίων (κόκκων) από την επιτάχυνση που προκαλεί η μεμβράνη ενός μεγαφώνου. Η μακροσκοπική αλλαγή που σχετίζεται με τη μετάβαση φάσης του παραδείγματος που θα μελετήσετε είναι η συσσώρευση των κόκκων στο μισό της βάσης του κυλίνδρου όπως αυτό διαμορφώθηκε με τη χρήση ενός μικρού διαχωριστικού τοιχώματος.

Αυξάνοντας το πλάτος ταλάντωσης της μεμβράνης οι κόκκοι μεταβαίνουν από την κατάσταση όπου ήταν συγκεντρωμένοι στο ένα μισό του κυλίνδρου στην κατάσταση όπου είναι κατανομημένοι εξίσου στα δύο μισά. Η διαδικασία αυτή αντιστοιχεί με μια διαδικασία όπου με συνεχή παροχή θερμότητας η θερμοκρασία υπερβαίνει την κρίσιμη.

Στόχος σας είναι να προσδιορίσετε την τιμή του εκθέτη στη σχέση που προηγήθηκε και η οποία περιγράφει την μετάβαση φάσης.

## Λίστα Υλικών



Σχήμα 2: Πρόσθετος εξοπλισμός για την πειραματική διαδικασία.

1. Μεγάφωνο στο οποίο έχει στερεωθεί ένας πλαστικός κύλινδρος
2. Περίπου 100 σπόροι παπαρούνας (σε πλαστικό δοχείο)
3. Ένα γάντι
4. Κολλητική ταινία

### Προσοχή στα ακόλουθα σημαντικά σημεία

- Μην ασκείτε υπερβολική πλευρική δύναμη στον πλαστικό κύλινδρο που έχει στερεωθεί στο μεγάφωνο. Θυμηθείτε ότι σε περίπτωση που η μεμβράνη του μεγαφώνου ή ο κύλινδρος καταστραφούν δεν μπορούν να αντικατασταθούν.
- Για να αποφευχθεί η εξασθένιση της μπαταρίας να θέτετε εκτός λειτουργίας το μεγάφωνο όταν δεν το χρησιμοποιείτε.
- Στο πείραμα αυτό το μεγάφωνο τροφοδοτείται από τους πλευρικούς ακροδέκτες με πριονωτό σήμα συχνότητας 4 Hz από τη γεννήτρια σήματος.

- Το πλάτος του πριονωτού σήματος μπορεί να ρυθμιστεί με τη χρήση ενός ποτενσιόμετρου το οποίο φέρει την ένδειξη *speaker amplitude* (4). Το μεγάφωνο συνδέεται στις υποδοχές *speaker amplitude* (6) και *GND* (7) ώστε να τροφοδοτείται με συνεχή τάση (DC) ανάλογη με το πλάτος του σήματος. Οι αριθμοί στην παρένθεση αναφέρονται στη φωτογραφία (εικόνα 2) που φαίνεται στο φυλλάδιο των Γενικών Οδηγιών.
- Η μεμβράνη του μεγαφώνου είναι ευαίσθητη. Σιγουρευτείτε ότι δεν εφαρμόζετε σε αυτή περιττή πίεση είτε κάθετα στην επιφάνειά της είτε πλευρικά.



## Μέρος Α. Κρίσιμο πλάτος διέγερσης (3.3 μονάδες)

Πριν ξεκινήσετε τη διεξαγωγή του πειράματος αυτού, συνδέστε τους πλευρικούς ακροδέκτες του μεγαφώνου στις υποδοχές της γεννήτριας σήματος (2) (βεβαιωθείτε ότι χρησιμοποιείτε τη σωστή πολικότητα). Τοποθετήστε μερικούς από τους σπόρους παπαρούνας (π.χ. 50) μέσα στον κύλινδρο που βρίσκεται τοποθετημένος πάνω στο μεγάφωνο. Κόψτε ένα κομμάτι από το γάντι και στερεώστε το στο πάνω μέρος του κυλίνδρου, ώστε να τον σφραγίσετε για να μην βγαίνουν από αυτόν οι σπόροι. Ξεκινήστε τη διέγερση των σπόρων χρησιμοποιώντας το ποτενσιόμετρο με την ένδειξη speaker amplitude (4) και ρυθμίστε το πλάτος ταλάντωσης της μεμβράνης γυρνώντας δεξιόστροφα με το κατσαβίδι. Παρατηρήστε την τακτοποίηση των σπόρων δοκιμάζοντας διάφορες τιμές πλάτους.

Πρώτος στόχος είναι να καθορίσετε το κρίσιμο πλάτος διέγερσης αυτής της μετάβασης. Για να το πετύχετε αυτό θα πρέπει να καθορίσετε τον αριθμό των σπόρων  $N_1$  και  $N_2$  στα δύο μέρη του κυλίνδρου (επιλέγοντας τις ετικέτες των μερών έτσι ώστε  $N_1 \leq N_2$ ) ως συνάρτηση της ένδειξης του πλάτους  $A_D$ , που είναι η τάση που μετράται στον ακροδέκτη speaker amplitude (6). Η τάση αυτή είναι ανάλογη του πλάτους της πριονωτής τάσης που τροφοδοτεί το ηχείο. Πραγματοποιήστε τουλάχιστον 5 μετρήσεις ανά τιμή τάσης.

Υπόδειξη:

- Για να βρίσκονται οι σπόροι που μελετάτε σε διαρκή κίνηση να κρατήσετε το πλάτος της τάσης πάνω από 0,7 V. Αρχίστε παρατηρώντας τη συμπεριφορά του συστήματος μεταβάλλοντας το πλάτος αργά χωρίς να παίρνετε μετρήσεις για τους σπόρους. Μπορεί κάποιος από τους σπόρους να μείνουν κολλημένοι στη βάση του κυλίνδρου λόγω στατικού ηλεκτρισμού. Αγνοήστε τους σπόρους αυτούς στις μετρήσεις σας.

**A.1** Καταχωρήστε στον πίνακα **Table A.1** τις μετρήσεις σας για τους αριθμούς των σπόρων  $N_1$  και  $N_2$  που βρίσκονται στο κάθε ένα από τα δύο μέρη του κυλίνδρου για διάφορες τιμές του πλάτους  $A_D$ . 1.2pt

**A.2** Υπολογίστε την τυπική απόκλιση για κάθε σειρά μετρήσεων που αφορά τους αριθμούς  $N_1$  και  $N_2$  και καταχωρήστε την στον **Πίνακα A.1**. Στο μιλιμετρέ χαρτί **Graph A.2**, να σχεδιάσετε τη γραφική παράσταση των  $N_1$  και  $N_2$  σε συνάρτηση με το πλάτος  $A_D$  συμπεριλαμβάνοντας την αβεβαιότητά τους. 1.1pt

**A.3** Από τη γραφική παράσταση να προσδιορίσετε το κρίσιμο πλάτος  $A_{D,crit}$  για  $N_1 = N_2$ , και το οποίο είχατε καταγράψει μετά την επίτευξη μιας κατάστασης ισορροπίας. 1pt

## Μέρος Β. Βαθμονόμηση (3.2 μονάδες)

Η τιμή του πλάτους  $A_D$  που αναγράφεται στο πολύμετρο αντιστοιχεί στην τάση που εφαρμόζεται στο μεγάφωνο. Ωστόσο, η ενδιαφέρουσα από άποψη Φυσικής ποσότητα είναι η μέγιστη μετατόπιση  $A$  της ταλάντωσης του μεγαφώνου, αφού σχετίζεται με την ένταση της διέγερσης των σπόρων. Συνεπώς θα πρέπει να βαθμονομήσετε την εμφανιζόμενη τιμή πλάτους Για το σκοπό αυτό μπορείτε να χρησιμοποιήσετε οποιοδήποτε από τα παρεχόμενα όργανα και εργαλεία.

**B.1** Να σχεδιάσετε τη διάταξη που θα χρησιμοποιήσετε για να μετρήσετε το Πλάτος Διέγερσης, δηλ. την απόσταση  $A$  (σε mm) μεταξύ των δύο ακραίων θέσεων της ταλάντωσης του μεγαφώνου. 0.5pt

<b>B.2</b>	Να πραγματοποιήσετε ικανοποιητικό αριθμό μετρήσεων του Πλάτους Διέγερσης $A$ (σε mm) σε σχέση με την τιμή του πλάτους $A_D$ που αναγράφεται στο πολύμετρο και να καταχωρήσετε τις μετρήσεις σας στον <b>πίνακα B.2</b> . Να υποδείξετε την αβεβαιότητα των μετρήσεών σας.	0.8pt
<b>B.3</b>	Να σχεδιάσετε την γραφική παράσταση των πιο πάνω μετρήσεων στο <b>μιλιμετρέ χαρτί B.3</b> , συμπεριλαμβανομένης και της αβεβαιότητάς τους.	1.0pt
<b>B.4</b>	Να προσδιορίσετε τις παραμέτρους της προκύπτουσας καμπύλης, χρησιμοποιώντας κατάλληλη μέθοδο προσέγγισης και να καθορίσετε τη συνάρτηση βαθμονόμησης $A(A_D)$ .	0.8pt
<b>B.5</b>	Να προσδιορίσετε την κρίσιμη τιμή του Πλάτους Διέγερσης $A_{crit}$ των σπόρων.	0.1pt

### Μέρος C. Κρίσιμη τιμή του εκθέτη (3.5 μονάδες)

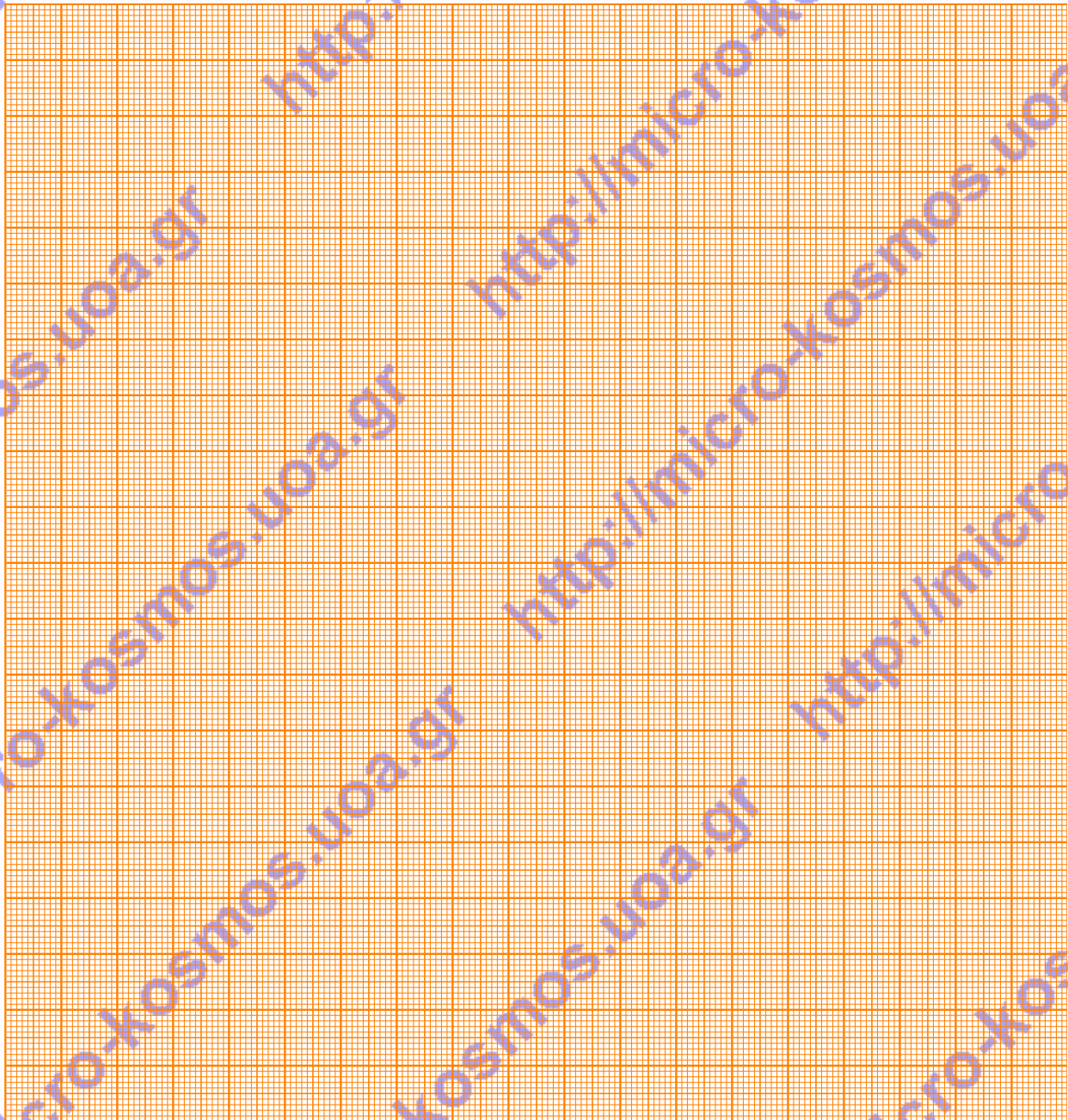
Στο δικό μας σύστημα, η θερμοκρασία αντιστοιχεί στην κινητική ενέργεια που προσδίδει η διέγερση στους σπόρους. Η ενέργεια αυτή είναι ανάλογη με το τετράγωνο της ταχύτητας της μεμβράνης του μεγαφώνου όπως προκύπτει από τη σχέση  $v^2 = A^2 f^2$ , όπου  $f$  είναι η συχνότητα της ταλάντωσης. Στη συνέχεια θα εξετάσουμε την εξάρτηση και θα προσδιορίσουμε την τιμή του εκθέτη  $b$  του εκθετικού νόμου που διέπει τη συμπεριφορά της παραμέτρου τάξης (βλ. Εξ. 1).

<b>C.1</b>	Η ανισοροπία $\left  \frac{N_1 - N_2}{N_1 + N_2} \right $ αποτελεί καλό υποψήφιο για την παράμετρο τάξης του συστήματός μας, επειδή έχει τιμή μηδέν πάνω από την κρίσιμη τιμή του Πλάτους Διέγερσης και ίση με 1 σε χαμηλότερη διέγερση. Προσδιορίστε την παράμετρο τάξης ως συνάρτηση του πλάτους $A$ . Καταχωρήστε τα αποτελέσματά σας στον πίνακα <b>Table C.1</b> .	1.1pt
<b>C.2</b>	Σχεδιάστε τη γραφική παράσταση της ανισοροπίας $\left  \frac{N_1 - N_2}{N_1 + N_2} \right $ ως συνάρτηση του $ A_{crit}^2 - A^2 $ , στο <b>Graph C.2</b> , όπου και οι δύο άξονες είναι σε λογαριθμική κλίμακα (λογαριθμικό μιλιμετρέ χαρτί). Μπορείτε να χρησιμοποιήσετε τον πίνακα <b>Table C.1</b> για τους υπολογισμούς σας. Ενδέχεται τα σημεία στη γραφική παράσταση να φαίνεται ότι δεν ακολουθούν γραμμική εξάρτηση, αλλά η μέθοδος των ελαχίστων τετραγώνων θα πρέπει να εφαρμοστεί έτσι κι αλλιώς, ώστε να συμπίπτει με τη συνάρτηση της <b>κρίσιμης εκθετικής</b> .	1pt
<b>C.3</b>	Προσδιορίστε την τιμή του εκθέτη $b$ και εκτιμήστε το σφάλμα της.	1.4pt



**A.2 (1.1 pt)**

**Graph A.2:**  $N_1, N_2$  ως προς  $A_D$



**A.3 (1.0 pt)**

$A_{D, \text{crit.}} =$



## Μέρος Β. Βαθμονόμηση (3.2 μονάδες)

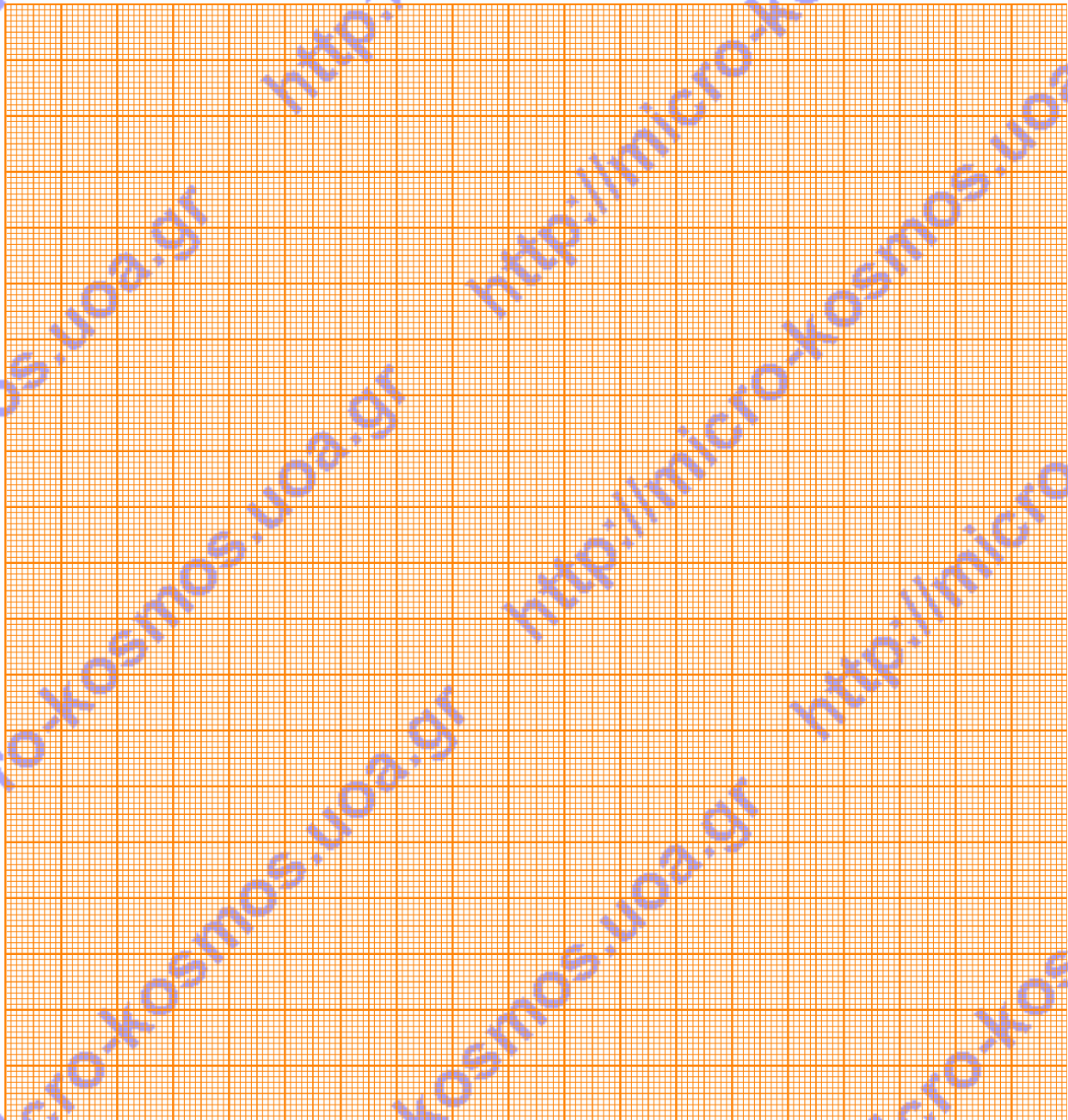
### B.1 (0.5 pt)

Σκίτσο της πειραματικής διάταξης:



**B.3 (1.0 pt)**

**Graph B.3:**  $A$  ως προς  $A_D$



**B.4 (0.8 pt)**

Συνάρτηση  $A(A_D)$ :

Παράμετροι της καμπύλης:

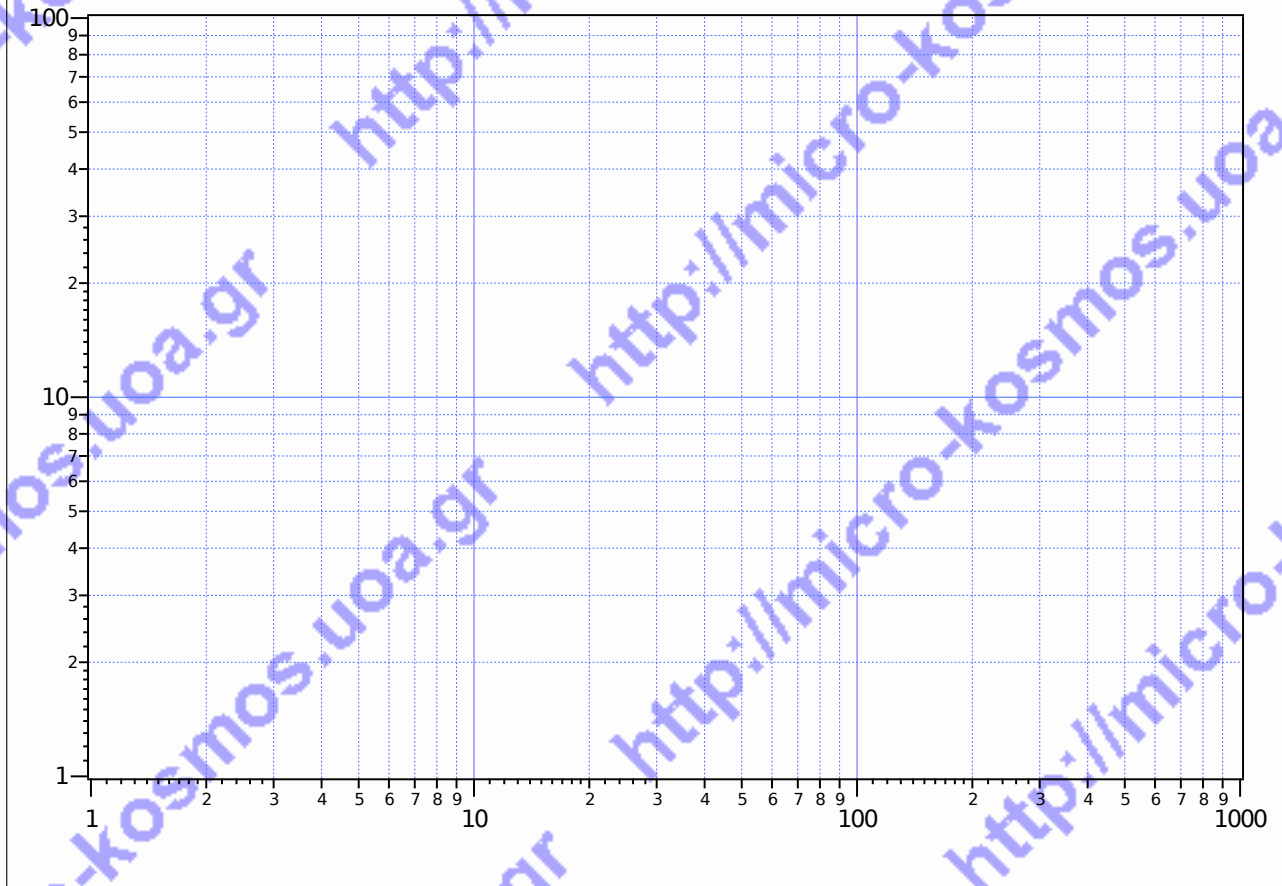
**B.5 (0.1 pt)**

$A_{\text{crit.}} =$





Graph C.2a Λογαριθμικό χαρτί μιλιμετρέ



Graph C.2b Γραμμικό χαρτί μιλιμετρέ



C.3 (1.4 pt)

$b =$

$\Delta b =$