

Τίτλος

Σπόροι που αναπηδούν - Ένα μοντέλο για μεταβάσεις φάσεων και αστάθειες.

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

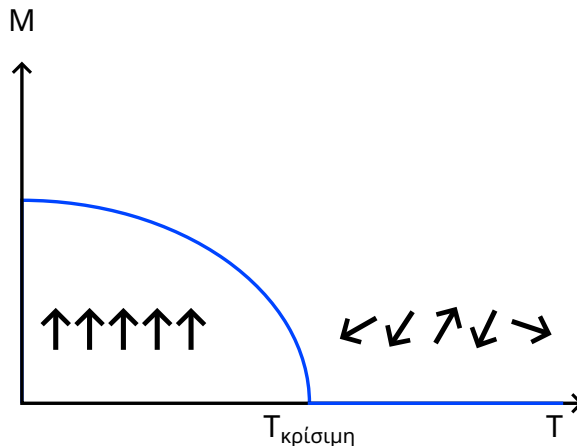
Εισαγωγή

Οι μεταβάσεις φάσεων είναι γνωστές από την καθημερινή ζωή, για παράδειγμα το νερό υπάρχει σε διάφορες καταστάσεις, όπως στερεό, υγρό και αέριο. Η διαδικασία που παρατηρείται κατά την αλλαγή από μια κατάσταση σε άλλη ονομάζεται μετάβαση φάσης. Στη διαδικασία της μετάβασης φάσης, 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, θερμοκρασίες μετάβασης 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, το οποίο αποκαλούμε παράμετρο τάξης. Για παράδειγμα στον μαγνητισμό, η παράμετρος τάξης σχετίζεται με την ευθυγράμμιση των μαγνητικών ροπών των ατόμων από ένα εξωτερικό μαγνητικό πεδίο.

Σε μια συνεχή μετάβαση φάσης, η παράμετρος τάξης θα παίρνει την τιμή μηδέν όταν η θερμοκρασία είναι μεγαλύτερη από την θερμοκρασία μετάβασης, ενώ για κάθε θερμοκρασία μικρότερη από τη θερμοκρασία μετάβασης η παράμετρος τάξης παίρνει μη μηδενική τιμή που μεγαλώνει καθώς μικραίνει η θερμοκρασία. Στο σχήμα 1 που ακολουθεί, φαίνεται ένα παράδειγμα που αφορά την περίπτωση ενός μαγνήτη. Σημειώνουμε πως η θερμοκρασία μετάβασης σε μια συνεχή διαδικασία μετάβασης φάσης ονομάζεται και κρίσιμη θερμοκρασία. Τα βελάκια 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 μαγνητισμένο. 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.



Σχήμα 1: Γραφική αναπαράσταση της παραμέτρου τάξης (M) σε σχέση με τη θερμοκρασία σε μια μετάβαση φάσης. Στη γραφική αναπαράσταση μπορεί κάποιος να παρατηρήσει ότι η παράμετρος τάξης θα παίρνει την τιμή μηδέν όταν η θερμοκρασία T είναι μεγαλύτερη από την κρίσιμη θερμοκρασία $T_{\text{κρίσιμη}}$, ενώ για κάθε θερμοκρασία μικρότερη από την κρίσιμη, η παράμετρος τάξης παίρνει μη μηδενική τιμή, που μεγαλώνει καθώς μικραίνει η θερμοκρασία.

Στις συνεχείς μεταβάσεις φάσεων, κάποιος μπορεί να παρατηρήσει ότι η παράμετρος τάξης που σχετίζεται με κάποια μετάβαση υπακούει σε εκθετική σχέση. Για παράδειγμα στον μαγνητισμό η παράμετρος τάξης, που είναι η μαγνήτιση M , για θερμοκρασίες μικρότερες από την κρίσιμη $T_{\text{κρίσιμη}}$ δίνεται από τη σχέση που ακολουθεί:

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

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

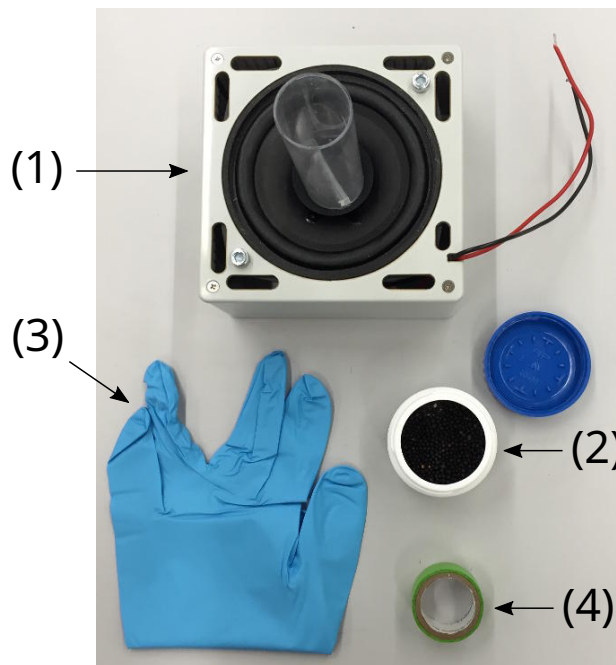
Θα μελετήσουμε ένα απλό παράδειγμα, στο οποίο μπορούν να ερευνηθούν κάποια από τα χαρακτηριστικά της συνεχούς μετάβασης φάσης. Συγκεκριμένα στο παράδειγμα αυτό, θα διερευνήσετε πως μια ασταθής κατάσταση καθορίζει τη συλλογική συμπεριφορά των σωματιδίων και οδηγεί σε μετάβαση φάσης και ακόμα πως μια μακροσκοπική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

Στις συνηθισμένες περιπτώσεις μεταβάσεων φάσης, η διέγερση των σωματιδίων καθορίζεται από τη θερμοκρασία. Στην περίπτωση που θα μελετήσετε, η διέγερση των σωματιδίων (σπόρων) είναι η μεταβολή της κινητικής τους ενέργειας από την κατακόρυφη επιτάχυνσή τους, λόγω της ταλάντωσης της μεμβράνης ενός μεγαφώνου. Η μακροσκοπική αλλαγή που σχετίζεται με τη μετάβαση φάσης του παραδείγματος που θα μελετήσετε, είναι η συσσώρευση των σπόρων στο μισό κάτω μέρος του κυλίνδρου όπως αυτό διαμορφώθηκε με τη χρήση ενός μικρού διαχωριστικού τοιχώματος.

Αυξάνοντας το πλάτος ταλάντωσης της μεμβράνης, οι σπόροι μεταβαίνουν από την κατάσταση όπου ήταν συγκεντρωμένοι στο ένα μισό του κυλίνδρου, στην κατάσταση όπου είναι κατανεμημένοι 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 τη μετάβαση φάσης.

Λίστα Υλικών



Σχήμα 2: Πρόσθετος εξοπλισμός για την πειραματική διαδικασία.

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

Προσοχή στα ακόλουθα σημαντικά σημεία

- Μην ασκείτε μεγάλη πλευρική δύναμη στον πλαστικό κύλινδρο που βρίσκεται πάνω στο μεγάφωνο. Τονίζουμε ότι σε περίπτωση που το μεγάφωνο 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 με πριονωτό σήμα συχνότητας 4 Hz από τη γεννήτρια σήματος.
- Το πλάτος του πριονωτού σήματος μπορεί να ρυθμιστεί με τη χρήση του δεξιού ποτενσιόμετρου το οποίο φέρει την ένδειξη *speaker amplitude* (4). Το μεγάφωνο έχει τάση εξόδου από τις υποδοχές *speaker amplitude* (6) και *GND* (7) η οποία είναι μια συνεχής τάση ανάλογη με το πλάτος του σήματος.
Οι αριθμοί στις παρενθέσεις αναφέρονται στη φωτογραφία (εικόνα 2) που φαίνεται στο φυλλάδιο των γενικών οδηγιών.
- Η μεμβράνη του μεγαφώνου είναι ευαίσθητη, γι' αυτό αποφεύγετε να ασκείτε σε αυτή μεγάλη κατακόρυφη ή πλευρική πίεση.

Μέρος Α. Κρίσιμο πλάτος διέγερσης (3.3 μονάδες)

Πριν ξεκινήσετε να διεκπεραιώνετε τις απαιτήσεις του προβλήματος αυτού, συνδέστε το megάφωνο στις υποδοχές της γεννήτριας σήματος (2) (βεβαιωθείτε ότι συνδέσατε το megάφωνο με τη σωστή πολικότητα). Τοποθετήστε μερικούς από τους σπόρους παπαρούνας (π.χ 50) μέσα στον κύλινδρο που βρίσκεται τοποθετημένος πάνω στο megάφωνο. 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 τον διακόπτη και ρυθμίστε το πλάτος ταλάντωσης της μεμβράνης περιστρέφοντας το δεξί ποτενσιόμετρο *speaker amplitude* (4) με το κατσαβίδι.

Πρώτος στόχος είναι να καθορίσετε το κρίσιμο πλάτος διέγερσης αυτής της μετάβασης. Για να το πετύχετε αυτό, θα πρέπει να προσδιορίσετε τον αριθμό των σπόρων N_1 και N_2 στα δύο μέρη του κυλίνδρου, ως συνάρτηση της τιμής του πλάτους A_D . Η τιμή του πλάτους A_D είναι η τιμή της τάσης εξόδου στην υποδοχή εξόδου *speaker amplitude socket* (6) και αναγράφεται στο πολύμετρο που έχετε συνδέσει. Η τάση αυτή είναι ανάλογη με το πλάτος του πριονωτού σήματος που τροφοδοτεί το megάφωνο.

Να επιλέξετε τους αριθμούς των σπόρων N_1 και N_2 ώστε $N_1 \leq N_2$ και να πάρετε τουλάχιστο 5 μετρήσεις για κάθε μια τιμή του πλάτους.

Κλειδί (Hint):

- 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 Α.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 Α.1 . Στο τετραγωνισμένο χαρτί Α.2 , να σχεδιάσετε τη γραφική παράσταση του κάθε ενός από τους αριθμούς N_1 και N_2 σε συνάρτηση με το πλάτος A_D . Να τοποθετήσετε τα σημεία στο τετραγωνισμένο χαρτί, συμπεριλαμβανομένης και της αβεβαιότητάς τους.	1.1pt
------------	--	-------

A.3	Από τη γραφική παράσταση να προσδιορίσετε το κρίσιμο πλάτος $A_{D, \text{κρίσιμο}}$ στο οποίο $N_1 = N_2$, και το οποίο είχατε καταγράψει αφού περιμένατε μέχρι να επιτευχθεί μια κατάσταση ισορροπίας.	1pt
------------	--	-----

Μέρος Β. Βαθμονόμηση (3.2 μονάδες)

Η τιμή του πλάτους A_D που αναγράφεται στο πολύμετρο αντιστοιχεί στην τάση που εφαρμόζεται στο megάφωνο. Ωστόσο, τη διέγερση των κόκκων την προκαλεί η ταλάντωση της μεμβράνης του megάφωνου. Όσο πιο μεγάλο είναι το πλάτος της ταλάντωσης αυτής, τόσο πιο ισχυρή είναι η διέγερση των κόκκων. Επομένως, η απόσταση μεταξύ των δύο ακραίων θέσεων Α της ταλάντωσης, την οποία θα ονομάζουμε πλάτος διέγερσης, είναι η ποσότητα που μας ενδιαφέρει. Για τη διαδικασία της βαθμονόμησης, θα πρέπει να αντιστοιχίσετε κάθε τιμή του πλάτους A_D που αναγράφεται στο πολύμετρο, με την αντίστοιχη τιμή της απόστασης μεταξύ των δύο ακραίων θέσεων Α της ταλάντωσης (πλάτος διέγερσης).

Για να μετρήσετε την απόσταση μεταξύ των δύο ακραίων θέσεων Α της ταλάντωσης (πλάτος διέγερσης),

μπορείτε να χρησιμοποιήσετε οτιδήποτε από τα υλικά που σας έχουν προμηθεύσει.

B.1	Να σχεδιάσετε τη διάταξη που θα χρησιμοποιήσετε για να μετρήσετε την απόσταση μεταξύ των δύο ακραίων θέσεων της ταλάντωσης A (σε mm) (πλάτος διέγερσης).	0.5pt
B.2	Να πάρετε ικανοποιητικό αριθμό μετρήσεων για την απόσταση μεταξύ των δύο ακραίων θέσεων της ταλάντωσης A (σε mm) (πλάτος διέγερσης) σε σχέση με την τιμή του πλάτους A_D που αναγράφεται στο πολύμετρο και να καταχωρήσετε τις μετρήσεις σας στον πίνακα B.2 . Να υποδείξετε την αβεβαιότητα των μετρήσεών σας.	0.8pt
B.3	Να σχεδιάσετε τη γραφική παράσταση των πιο πάνω μετρήσεων στο τετραγωνισμένο χαρτί B.3 . Να τοποθετήσετε τα σημεία στο τετραγωνισμένο χαρτί, συμπεριλαμβανομένης και της αβεβαιότητάς τους.	1.0pt
B.4	Να προσδιορίσετε τις παραμέτρους της γραμμής που προέκυψε και να καθορίσετε τη σχέση βαθμονόμησης $A = f(A_D)$.	0.8pt
B.5	Να προσδιορίσετε την κρίσιμη τιμή του πλάτους διέγερσης, δηλαδή την κρίσιμη τιμή της απόστασης μεταξύ των δύο ακραίων θέσεων της ταλάντωσης.	0.1pt

Μέρος Γ. Τιμή του εκθέτη b

Στο δικό μας σύστημα, η θερμοκρασία αντιστοιχεί με το ποσό της κινητικής ενέργειας που προσδίδει η διέγερση στους σπόρους. Η ενέργεια αυτή είναι ανάλογη με το τετράγωνο της ταχύτητας της μεμβράνης του μεγαφώνου που προκύπτει από τη σχέση $v^2 = A^2 f^2$, όπου f είναι η συχνότητα της ταλάντωσης. Στη συνέχεια θα εξετάσετε την ισχύ της σχέσης 1 και θα προσδιορίσετε την τιμή του εκθέτη b της παραμέτρου τάξης.

C.1	Ο όρος $\left \frac{N_1 - N_2}{N_1 + N_2} \right $ μπορεί να θεωρηθεί ως η παράμετρος τάξης για το σύστημα που μελετούμε αφού παίρνει την τιμή μηδέν για τιμές της απόστασης μεταξύ των δύο ακραίων θέσεων (πλάτος διέγερσης) μεγαλύτερες της κρίσιμης ενώ παίρνει την τιμή 1 για τις μικρές τιμές της απόστασης μεταξύ των δύο ακραίων θέσεων. Για κάθε τιμή του πλάτους διέγερσης A να υπολογίσετε την αντίστοιχη τιμή της παραμέτρου και να καταχωρήσετε τα αποτελέσματά σας στον πίνακα C.1 .	1.1pt
C.2	Να σχεδιάσετε τη γραφική παράσταση του όρου $\left \frac{N_1 - N_2}{N_1 + N_2} \right $ σε συνάρτηση με τον όρο $ A_{\text{κρίσιμο}}^2 - A^2 $, στο χαρτί C.2 , όπου και οι δύο άξονες είναι λογαριθμικοί. Μπορείτε να χρησιμοποιήσετε τον πίνακα C.1 για τους υπολογισμούς σας. Τα σημεία που θα τοποθετήσετε στο λογαριθμικό χαρτί πιθανό να μην βρίσκονται γύρω από ευθεία, εντούτοις να φέρετε την καλύτερη δυνατή ευθεία, ώστε να ανταποκρίνεται στην εκθετική σχέση.	1pt

C.3 Να προσδιορίσετε την τιμή του εκθέτη b και να εκτιμήσετε το σφάλμα.

1.4pt