

חרוזים קופצים - המודל למעבר פאזה ולאיי-ציבות (10 נקודות)

נא לקרוא את ההוראות הכלליות במעטפה נפרדת לפני התחלת העבודה.

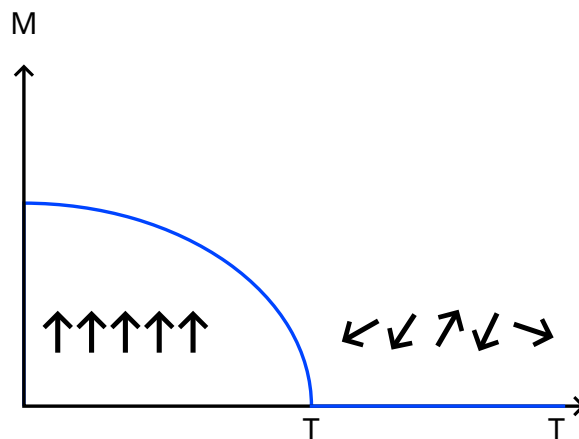
מבוא

מעברי פאזה מוכרים מחיי היום יום, כגון מים המופיעים במצבי צבירה שונים, מוצק, נוזל וגז. מצבים שונים אלו מופרדים על-ידי מעברי פאזה כאשר ההתנהגות הקבוצתית של המולקולות בחומר משתנה. מעבר פאזה כזה תמיד מתקיים בטמפרטורת המעבר שבה המצב משתנה, למשל טמפרטורות של קיפאון ורתיחה בדוגמאות הנ"ל.

מעברי פאזה הם אפילו יותר נפוצים ומתקיימים גם במערכות אחרות כמו מגנטים או על-מוליכים, כאשר מתחת לטמפרטורת המעבר המצב המקרוסקופי משתנה מפרמגנטי לפרומגנטי או ממוליך לעל-מוליך, בהתאמה.

ניתן לתאר את כל המעברים האלה באופן כללי בעזרת קבוע הסדר. למשל במגנטיות קבוע הסדר קשור לאוריינטציה של המומנטים המגנטיים של האטומים עם מגנטיזציה מקרוסקופית.

במעבר פאזה הנקרא מעבר פאזה רציף ערכו של קבוע הסדר יהיה תמיד אפס מעל טמפרטורת המעבר ויגדל באופן רציף מתחת אליה כפי שניתן לראות בתרשים 1 למטה. הטמפרטורה של מעבר פאזה רציף נקראת הטמפרטורה הקריטית. התרשים מכיל גם תאור סכמטי של סדר או אי-סדר מיקרוסקופי במקרה המגנטי, כאשר מומנטים אטומיים מכוונים בכיוון אחד במצב הפרומגנטי באופן שגורם למגנטיזציה מקרוסקופית ולעומת זאת הם מכוונים באופן אקראי במצב פארמגנטי וגורמים למגנטיזציה מקרוסקופית אפסית.



תרשים 1: תצוגה סכמטית של תלות קבוע הסדר M בטמפרטורה במעבר פאזה. מתחת לטמפרטורת המעבר T_{crit} קבוע הסדר גדל ולא שווה לאפס, לעומת זאת הוא שווה לאפס בטמפרטורות מעל T_{crit} .

עבור מעברי פאזה אחידים בדרך כלל ניתן לראות שקבוע הסדר בתחום קרוב למעבר נתון על-ידי תלות חזקתית, לדוגמא, במקרה המגנטי המגנטיזציה M מתחת לטמפרטורת T_{crit} המעבר נתונה על ידי:

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

כאשר T היא טמפרטורה. הדבר העוד יותר מדהים הוא שההתנהגות הזאת היא אוניברסלית: למעריך שבתלות החזקתית הזו, יש את אותו ערך עבור הרבה מעברי פאזה שונים.

משימה

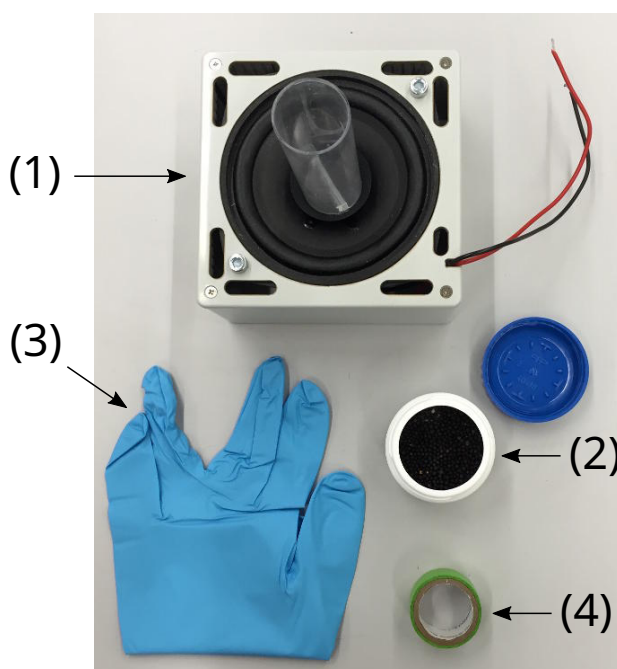
אנחנו נחקור דוגמא פשוטה שבה ניתן לחקור כמה מהתכונות של מעברי פאזה רציפים כמו איך אי-יציבות משפיעה על התנהגות קבוצתית של חלקיקים ומובילה למעבר פאזה, כמו כן כיצד השינוי המקרוסקופי תלוי בעירור החלקיקים.

במעברי פאזה נפוצים העירור הזה נגרם על ידי טמפרטורה. בדוגמא שלנו העירור בא לידי ביטוי באנרגיה הקינטית של החלקיקים המואצים על-ידי הרמקול. השינוי המקרוסקופי שמיוחס למעבר פאזה שאנו חוקרים מורכב ממיון החרוזים לצד אחד של גליל שמופרד על-ידי מחיצה קטנה.

תוך כדי הגדלת את המשרעת מהערך שבו החלקיקים מוינו כולם לחלק אחד של הגליל נוכל לראות שבסופו של דבר החלקיקים מתחלקים באופן שווה בין שני החצאים. ניתן לייחס זאת לחימום מעל הטמפרטורה הקריטית.

המשימה שלך היא למצוא את המערך הקריטי עבור המודל הנחקר.

רשימת הציוד



תרשים 2: ציוד נוסף לניסוי זה.

1. מערכת רמקול עם גליל מפלסטיק שמוצב עליו.

2. זרעי פרג, 100 בקירוב (במיכל פלסטי)

כפפה

סרט הדבקה

אמצעי זהירות חשובים

- אין להפעיל כוח נוסף על הגליל הפלסטי שמוצב על הרמקול. שום ציוד חלופי לא יסופק במקרה של קריעת הממברנה של הרמקול או של ניתוק של הגליל הפלסטי.

- יש לכבות את מערכת הרמקול כשהוא לא בשימוש כדי למנוע התרוקנות של הסוללה.
- בניסוי זה האות שצורתו מסור בתדירות של 4 Hz יוצא בשקע היציאה של המחולל המיועד לרמקול הנמצא בצד של מחולל האותות.
- המשרעת של אות המסור ניתנת לשינוי על-ידי הפוטנציומטר הימני שמסומן (4) amplitude speaker . מתח DC שפרופורציונלי למשרעת האות יוצא מהיציאה amplitude speaker בשקע (6) (יחסית לשקע GND) (7). המספרים מתיחסים לתמונה (תרשים 2) שמופיעה בהוראות הכלליות.
- הממברנה של הרמקול עדינה. וודא שאתה לא מפעיל עליה לחץ ללא הצורך בשום כיוון לא אנכי ולא אופקי.

חלק א. המשרעת הקריטית לעירור (3.3 נקודות)

לפני שאתה מתחיל את המשימות הנחוצות של השאלה חבר את הרמקול להדקים בצד של מחולל האותות (וודא שהחיבור הוא לפי הקיטוב הנכון). הכנס כמות מסוימת זרעי פרג (למשל 50) לתוך הגליל שמוצב על הרמקול וסגור את הגליל מלמעלה על-ידי פיסת בד שתגזור מהכפפה המסופקת, כדי לשמור את הזרעים בתוך הגליל. הפעל את העירור באמצעות מפסק וכונן את המשרעת על-ידי הסיבוב של הפוטנציומטר הימני שמסומן (4) *speaker amplitude* בעזרת המברג המסופק. התבונן בהסתדרות של החרוזים עבור משרעות שונות.

המשימה הראשונה היא קביעת משרעת העירור הקריטית של המעבר הזה. כדי לעשות זאת עליך לקבוע מספר הזרעים N_1 ו- N_2 בשני החלקים (בחר את הסימון של החלקים כך ש- $N_1 \leq N_2$) כפונקציה של המשרעת המוצגת A_D , שהיא - המתח שנמדד בשקע (6) *speaker amplitude*. המתח הזה פרופורציונלי למשרעת של מתח המסור שמניע את הרמקול. בצע לפחות 5 מדידות עבור כל ערך של המתח.

רמז:

• כדי שהחלקיקים שאותם אתה חוקר יהיו בתנועה מתמדת השתמש במשרעת של *speaker amplitude* מעל 0.7 V. התחל מהתבוננות בהתנהגות של המערכת תוך כדי שינוי איטי של המתח בלי ספירת החרוזים. יתכן שחלק מהחרוזים יידבקו לקרקעית בשל סיבות אלקטרוסטטיות. אל תיספור חרוזים אלה.

| | | |
|-------|--|------------|
| 1.2pt | רשום את מדידותיך עבור מספר החלקיקים N_1 ו- N_2 בכל אחד מחצאי המיכל לערכים שונים של המשרעת A_D בטבלה A.1 . | A.1 |
| 1.1pt | חשב את סטיית התקן עבור המדידות של N_1 ו- N_2 ורשום את התוצאות בטבלה A.1 . צייר גרף של N_1 ו- N_2 כפונקציה של המשרעת המוצגת A_D בגרף 2.A כולל תחומי השגיאה. | A.2 |
| 1pt | בהסתמך על הגרף קבע את המשרעת המוצגת הקריטית $A_{D,crit}$ שבה $N_1 = N_2$ זאת לאחר זמן רב כשהמערכת הגיעה למצב עמיד. | A.3 |

חלק ב. כיוול (3.2 נקודות)

המשרעת המוצגת A_D מתאימה למתח שמופעל על הרמקול. אולם הגודל הפיזיקלי המעניין הוא ההעתק המרבי A בתנודות של הרמקול, מכיוון שזה מעיד על מידת העירור של החרוזים. לכן אתה צריך לכייל את המשרעת המוצגת. לצורך זה אתה רשאי להשתמש בכל הצידוד והכלים שסופקו.

| | | |
|-------|--|------------|
| 0.5pt | צייר סכמטית את המערכת שבה אתה משתמש לצורך מדידת ההעתק המרבי A (במילימטרים) של הרמקול במהלך מחזור אחד של התנודות. | B.1 |
| 0.8pt | קבע את המשרעת A (במילימטרים) עבור מספר מתאים של נקודות, כלומר רשום את משרעת התנודות A כפונקציה של משרעת המתח המוצגת A_D בטבלה B.2 וציין את תחומי השגיאות של מדידותיך. | B.2 |
| 1.0pt | הצג את התוצאות בגרף 3.B כולל תחומי השגיאות. | B.3 |
| 0.8pt | קבע את הפרמטרים המאפיינים את הקו שהתקבל תוך שימוש בהתאמה נכונה לקביעת פונקציית הכיוול $A(A_D)$. | B.4 |
| 0.1pt | קבע את המשרעת הקריטית A_{crit} של זרעי הפרג. | B.5 |

חלק ג. המעריך הקריטי (3.5 נקודות)

במערכת שלנו טמפרטורה מתאימה לאנרגיה הקינטית המעוררת. האנרגיה הזאת פרופורציונלית לריבוע המהירות של הרמקול, כלומר ל- $v^2 = A^2 f^2$, כאשר f היא תדירות התנודות. עתה אנחנו נבדוק את התלות הזאת ונקבע את מעריך החזקה b בחוק שקובע את ההתנהגות של פרמטר הסדר (ראה משוואה 1).

| | | |
|-------|--|------------|
| 1.1pt | <p>הסטייה מאיזון $\left \frac{N_1 - N_2}{N_1 + N_2} \right$ מתאימה במידה טובה להיות פרמטר הסדר עבור המערכת שלנו בכך שהיא שווה לאפס במשרעות גדולות מהקריטית ושווה לאחד במקרה של עירור נמוך. קבע את הקבוע הזה כפונקציה של המשרעת A. רשום את התוצאה בטבלה C.1.</p> | C.1 |
| 1pt | <p>הצג את הסטייה $\left \frac{N_1 - N_2}{N_1 + N_2} \right$ כפונקציה של $A_{\text{crit}}^2 - A^2$ בגרף C.2, שבו שני צירים הם לוגריתמיים (גרף לוג-לוג). לצורך החישובים אתה יכול להיעזר בטבלה C.1. הנקודות על הגרף יכולות להיראות כך שהן לא מצייתות לתלות ליניארית אבל יש להעביר קו מגמה ליניארי בכל מקרה כדי להגיע לנוסחה אקספוננציאלית מתאימה.</p> | C.2 |
| 1.4pt | קבע את מעריך החזקה b והערך את השגיאה. | C.3 |