

Sjemenke koje poskakuju - Model za fazne prelaze i nestabilnosti (10 poena)

Prije nego što počnete da radite zadatak prvo pročitajte opšta uputstva koja se nalaze posebnoj kovrti.

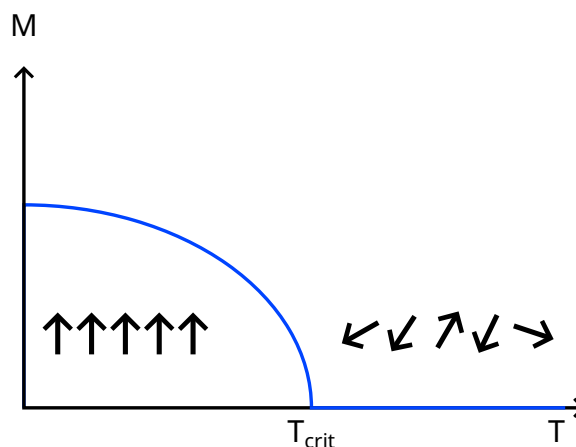
Uvod

Fazni prelazi su nam dobro poznati iz svakodnevnog života, na primjer voda se može nalaziti u tri različita stanja: čvrstom, tečnom i gasovitom. Prelaz iz jednog u drugo stanje je u stvari fazni prelaz kod kojeg dolazi do promjene kolektivnog ponašanja molekula u nekom materijalu. Ovaj fazni prelaz se uvijek dešava na nekoj temperaturi prelaza, pri kojoj se to stanje mijenja, primjeri temperatura prelaza su temperatura mržnjenja i temperatura ključanja vode.

Fazni prelazi su u stvari mnogo više rašireni i pojavljuju se takođe i u drugim sistemima, na primjer u magnetima i superprovodnicima, kod kojih se ispod temperature prelaza mijenja makroskopsko stanje tako što oni postanu feromagnet (a prije su bili paramagnet) odnosno postaju superprovodnik a prije su bili normalni metal.

Svi ovi prelazi se mogu opisati na jedinstven način uvođenjem koncepta tzv. parametra uređenja. Na primjer kod magnetizma parametar uređenja se povezuje sa usmjerenošću magnetnih momenata atoma sa makroskopskom magnetizacijom.

Kod tzv. kontinualnih faznih prelaza parametar uređenja je uvijek jednak nuli iznad kritične temperature, a kako se temperature smanjuje, počevši od temperature prelaza, tako i parametar uređenja počinje kontinualno da raste, kao što je prikazano shematski za magnet na slici 1. Temperatura prelaza kod kontinualnih faznih prelaza se zove kritična temperatura. Slika nam istovremeno shematski prikazuje mikroskopsku uređenost odnosno neuređenost pojedinačnih magnetnih momenata koji su kod feromagneta svi usmjereni duž istog pravca pa oko sebe stvaraju magnetno polje, dok su u slučaju paramagneta magnetni momenti haotično usmjereni duž različitih pravaca tako da je ukupno magnetno polje koji oni stvaraju jednako nuli.



Slika 1. Shematski prikaz temperaturene zavisnosti parametra uređenja M pri faznom prelazu. Ispod kritične temperature T_{crit} parametar uređenja raste i različit je od nule, dok je za temperature iznad kritične T_{crit} on jednak nuli.

Za kontinualne fazne prelaze može se generalno naći da parametar uređenja u blizini faznog prelaza

zavisu od temperature po stepenom zakonu, na primjer magnetizacija M ispod kritične temperature T_{crit} je data sa

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

gdje je T temperatura. Ono što je iznenađujuće je da je ovakva temperaturna zavisnost univerzalna: eksponent kod stepenog zakona je isti za različite vrste faznih prelaza.

Zadatak

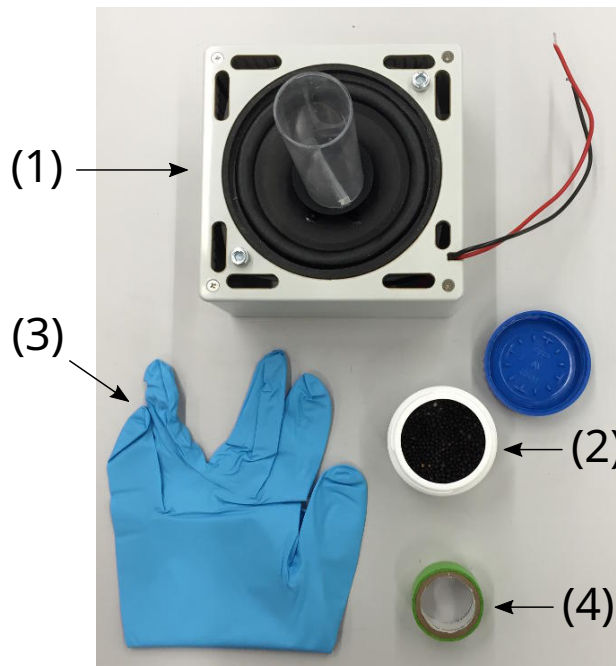
Analiziraćemo jedan jednostavan primjer kojem možemo da analiziramo neke karakteristike kontinualnog faznog prelaza, kao na primjer kako nestabilnost dovodi do kolektivnog ponašanja čestica, a samim tim i do faznog prelaza, kao i da se analizira kako makroskopske promjene zavise od stepena pobuđenja čestica.

Kod uobičajenih faznih prelaza čestice se pobuđuju povećanjem temperature. U našem primjeru, pobuđenje je stvari kinetička energija čestice-sjemenke koja se ubrzava uz pomoć zvučnika. Makroskopska promjena koja odgovara faznom prelazu koji analiziramo se sastoji u sortiranju sjemenki (odnosno njihovom prelazu) u jednu od dvije polovine cilindra koji je podijeljen na dva dijela malom preprekom.

Počevši od situacije kada su sve čestice u jednoj polovini cilindra, postepenim povećavanjem amplitude doći ćete u situaciju da su čestice ravnomjerno raspoređene u obje polovine cilindra. Ovakva raspodjela čestica-sjemenki odgovara situaciji kada je temperatura iznad kritične.

Vaš zadatak je da nađete kako izgleda stepeni zakon za ovakav model faznog prelaza.

Spisak materijala



Slika 2. Dodatni pribor za ovaj eksperiment.

1. Zvučnik na koji je postavljena cilindrična posuda
2. Oko 100 sjemenki (koje su u plastičnoj čaši)
3. Rukavice
4. Ljepljiva traka

Važne napomene

- Nemojte prejako da pritiskate i gurate plastični cilindar koji se nalazi na zvučniku. Skrećemo pažnju da nemamo rezervnu opremu za ovaj eksperiment u slučaju da se odlijepi cilindar ili se odlijepi membrana zvučnika.
- Isključite zvučnik kada vam nije potreban kako se ne bi trošile baterije.
- U ovom eksperimentu na izlazu zvučnika, koji je sa bočne strane generatora signala, imate testerasti signal frekvencije 4Hz.
- Amplituda testerastog signala se može podesiti pomoću ručice potenciometra, koja je označena sa *speaker amplitude* (4) i nalazi se sa desne strane. Jednosmjerni napon, koji je proporcionalan amplitudi signala, se nalazi na priključku na kojem piše *speaker amplitude* (napon u odnosu na GND priključak (7)). Brojevi koji se pominju možete vidjeti na Slici 2 koja je u opštem uputstvu.
- Mnjembrana zvučnika je osjetljiva. Postarajte se da de je ne pritiskate previše bez potrebe, bilo vertikalno bilo bočno.

Dio A. Kritična amplituda pobuđenja (3,3 poena)

Prije nego što počnete da radite ovaj dio povežite zvučnik sa priključcima koji se nalaze sa strane generatora signala (postarajte se da prilikom povezivanja koristite pravilan polaritet). Uspite nešto (recimo 50) sjemenki u cilindar koji je postavljen na zvučnik, zatim otkinite dio gumene rukavice i tim dijelom prekrijte otvor cilindra kako sjemenke ne bi tokom eksperimenta ispadale iz cilindra. Uključite izvor pobuđenja i mijenjajte amplitudu pobuđenja kako bi ustanovili šta se dešava sa sjemenkama. Amplitudu pobuđenja mijenjate uz pomoć potencijometra koji je označen sa *speaker amplitude* (4) koristeći šrafciiger koji vam je na raspolaganju.

Vaš prvi zadatak je da odredite kritičnu amplitudu pobuđenja ovog faznog prelaza. Kako biste ovo uradili neophodno je da izbrojite sjemenke koje se nalaze u oba dijela cilindra, to su brojevi N_1 i N_2 (koristite oznake tako da je $N_1 \leq N_2$) i prikažete ih kao funkciju amplitude A_D (a ona je u stvari napon koji mjerite na izlazu priključka označenog sa *speaker amplitude* (6)). Taj napon je u stvari proporcionalan amplitudi testerastog signala koji se daje zvučniku. Napravite barem 5 mjerenja za jednu vrijednost napona.

Uputstvo:

- Kako biste obezbijedili da vam sjemenke uvijek poskakuju u vašem eksperimentu analizirajte samo amplitude koji odgovaraju naponima na priključku *speaker amplitude* koji su veći od 0.7 V . Prvo posmatrajte kako se ponaša vaš sistem samo varirajući napon a bez brojanja sjemenki u obje polovine cilindra. Moguće je da se neke sjemenke zalijepe za podlogu usljed statičkog elektriciteta. Ne mojte da brojite ove sjemenke.

| | | |
|------------|---|-------|
| A.1 | Upišite u Tabelu A.1. rezultate mjerenja brojeva čestica N_1 i N_2 u svakoj polovini cilindra za različite amplitude A_D . | 1.2pt |
|------------|---|-------|

| | | |
|------------|---|-------|
| A.2 | Izračunajte srednje kvadratno odstupanje vaših mjerenja i te rezultate takođe upišite u Tabelu A.1. Nacrtajte N_1 i N_2 kao funkciju amplitude A_D na Grafiku A.2 prikazujući istovremeno i srednje kvadratno odstupanje. | 1.1pt |
|------------|---|-------|

| | | |
|------------|--|-----|
| A.3 | Na osnovu grafika odredite kritičnu amplitudu $A_{D,crit}$ na način što ćete odrediti pri kojoj amplitudi su brojevi N_1 i N_2 jednaki gledano u dužem vremenskom intervalu. | 1pt |
|------------|--|-----|

Dio B. Kalibracija (3,2 poena)

Amplituda A_D , čiju smo kritičnu vrijednost odredili u prethodnom dijelu, odgovara naponu koji smo priključili na zvučnik. Međutim fizički je mnogo interesatnija veličina je amplituda oscilacija $A_{membrane}$ zvučnika pošto nam ona sugerše koliko snažno se sjemenke pobuđuju. To znači da morate da kalibrišete amplitudu A_D koja vam se javlja na generatoru signala. Da biste izvršili kalibraciju koristite bilo šta od opreme i materijala koji su vam na raspolaganju.

| | | |
|------------|---|-------|
| B.1 | Skicirajte sliku kako da povežete elemente pribora za mjerenje kako bi mogli da mjerite amplitudu A (u milimetrima) oscilacija membrane zvučnika. | 0.5pt |
|------------|---|-------|

| | | |
|------------|---|-------|
| B.2 | Izmjerite amplitudu A (u milimetrima) za nekoliko različitih mjerenja, odnosno upišite u Tabelu B.2 amplitudu A kao funkciju amplitude A_D koja vam se prikazuje na generatoru signala, i takođe ukažite na grešku mjerenja. | 0.8pt |
|------------|---|-------|

| | | |
|------------|--|-------|
| B.3 | Nacrtajte ovo mjerenja na grafiku B.3 uključujući i grešku mjerenja. | 1.0pt |
| B.4 | Odredite parametre krive koju ste nacrtali, koristeći fit, da biste odredili funkciju kalibracije $A(A_D)$ | 0.8pt |
| B.5 | Odredite kritičnu vrijednost amplitude A_{crit} sjemenki. | 0.1pt |

Dio C. Kritični eksponent (3,5 poena)

U našem sistemu ulogu temperature igra kinetička energija saopštena sjemenkama, a ona je proporcionala kvadratu brzine membrane zvučnika, tj. $v^2 = A^2 f^2$, gdje je f frekvencija oscilacija. Testiraćemo ovu zavisnost i odrediti eksponent b iz funkcije koja opisuje parametar uređenja (pogledaj jednačinu 1.)

| | | |
|------------|---|-------|
| C.1 | Odnos $\left \frac{N_1 - N_2}{N_1 + N_2} \right $ je dobar kandidat za parametar uređenja u našem slučaju u smislu da je on jednak nuli iznad kritične amplitude a jednak je 1 pri malim amplitudama. Odredite ovaj parametar uređenja kao funkciju amplitude A . Upišite vaše rezultate u Tabelu C.1 . | 1.1pt |
| C.2 | Nacrtajte $\left \frac{N_1 - N_2}{N_1 + N_2} \right $ odnos kao funkciju $ A^2 - A_{\text{crit}}^2 $ na log-log Grafiku C.2 (obje ose grafika su u logaritamskoj skali). Koristite Tabelu C.1 za računanje. Tačke na grafiku ne liče da leže na jednoj pravoj ali bez obzira na to povlačenjem prave linije kroz tačke dobićete stepeni zakon. | 1pt |
| C.3 | Odredite parametar b i procijenite grešku. | 1.4pt |