

Skačuća zrnca - Model faznih prelaza i nestabilnosti (10 poena)

Najprije pročitajte opšte upute u odvojenoj koverti prije nego počnete rješavati ovaj zadatak.

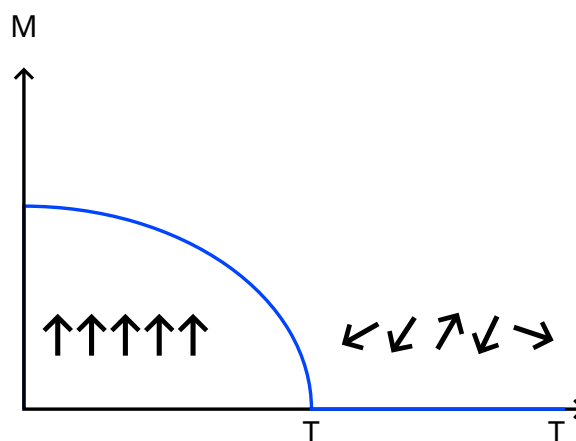
Uvod

Fazni prelazi su dobro poznate svakodnevne pojave, npr. voda se može nalaziti u različitim stanjima poput čvrstog, tečnog i gasovitog. Ova različita stanja su odvojena faznim prelazima tokom kojih se ukupno ponašanje molekula unutar materijala mijenja. Takav fazni prelaz je uvijek povezan sa nekom prelaznom temperaturom za koju se data promjena dešava. Dobar primjer prelazne temperature je temperatura topljenja leda ili isparavanja vode.

Fazni prelazi su, međutim, dosta rasprostranjenija pojava i često se dešavaju i u drugim sistemima poput magneta ili superprovodnika. U ovim slučajevima se ispod neke prelazne temperature, makroskopsko stanje paramagneta mijenja u feromagnetno, a normalnog provodnika u superprovodno.

Sve fazne prelaze možemo zajednički analizirati uvodeći tzv. parametar uređenja. U magnetizmu je, na primjer, parametar uređenja se povezuje sa pravilnim usmjerenjem magnetnih momenata pojedinačnih atoma i makroskopske magnetizacije.

U tzv. neprekidnim faznim prelazima, parametar uređenja će biti jednak nuli za sve temperature veće od kritične, a imat će neprekidan rast za temperature manje od kritične, što je šematski prikazano na slici 1 za slučaj magneta. Prelazna temperatura neprekidnog faznog prelaza naziva se kritična temperatura. Slika također sadrži prikaz mikroskopskog reda ili nereda za slučaj magneta. Za uspostavljeni red imamo usmjerenu orijentaciju pojedinačnih magnetnih momenata u feromagnetnom stanju što dovodi do makroskopske magnetizacije, dok u slučaju paramagnetnog stanja imamo nasumičnu orijentaciju momenata i makroskopsku magnetizaciju jednaku nuli.



Slika 1: Šematski prikaz temperature zavisnosti parametra uređenja M prilikom faznog prelaza. Ispod kritične temperature T_{crit} , parametar uređenja raste i različit je od nule, dok je za temperature iznad T_{crit} jednak nuli.

Za neprekidne fazne prelaze, općenito se može pokazati da za parametar uređenja u blizini prelaza vrijedi

eksponencijalni zakon, npr. magnetizacija M ispod kritične temperature T_{crit} , data je 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 zapanjujuće jeste da je ovakvo ponašanje univerzalno: eksponent spomenutog eksponencijalnog zakona je isti za niz različitih faznih prelaza.

Zadatak

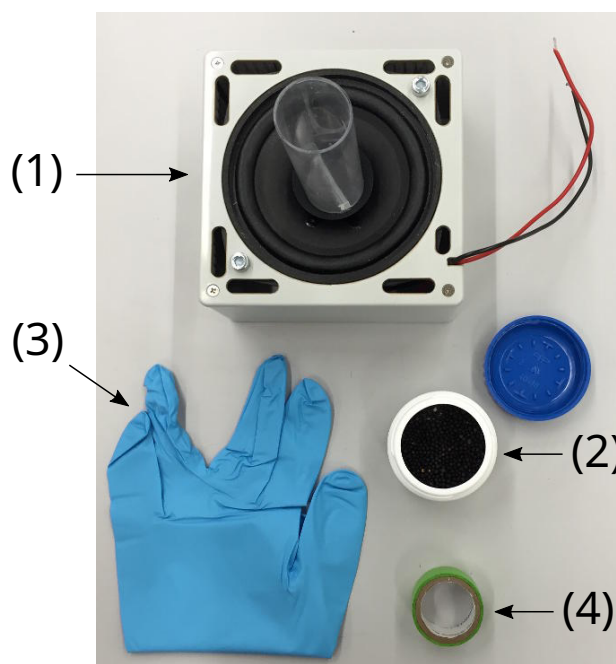
U ovom zadatku proučavat ćemo jednostavni primjer gdje neke od osobina faznih prelaza doleže do izražaja. Konkretno, zanimat će nas kako nestabilnost u sistemu utiče na kolektivno ponašanje čestica sistema, te kako makroskopske promjene sistema zavise od pobuđenja čestica.

U uobičajnim faznim prelazima, spomenuto pobuđenje čestica izazvano je uticajem temperature. U našem primjeru, pobuđenje čestica sastoji se od kinetičke energije čestica koje su ubrzane djelovanjem zvučnika. Makroskopska promjena koja odgovara faznom prelazu kojeg ovdje izučavamo sastoji se iz sortiranja zrna u jednu polovinu cilindra koji je podjeljen malom pregradom.

Postepenim povećanjem amplitude pri kojoj se čestice sortiraju u jednu polovinu cilindra, primijetit ćete da taj efekat nestaje, tj. čestice se jednako raspoređuju između dvije polovine. Ovo fizikalno odgovara situaciji u kojoj smo sistem zagrijali na temperaturu veću od kritične.

Vaš zadatak je da odredite kritični eksponent za model faznog prelaza izloženog u ovom problemu.

Lista materijala



Slika 2: Dodatna oprema za ovaj eksperiment

1. Postavka zvučnika sa plastičnim cilindrom na vrhu
2. Oko 100 zrna/čestica (u plastičnoj posudi)
3. Rukavica
4. Ljepljiva traka

VAŽNE NAPOMENE

- Ne djelujte nikakvom silom na plastični cilindar postavljen na zvučnik! Napominjemo da u slučaju pucanja membrane zvučnika ili plastičnog cilindra, oštećena oprema NEĆE BITI zamjenjena!
- Isključite postavku sa zvučnikom kad god je ne koristite. Ovako ćete spriječiti nepotrebno trošenje baterije.
- U ovom eksperimentu, izlaz testerastog signala frekvencije 4 Hz nalazi se na terminalima zvučnika na generatoru signala.
- Amplitudu testerastog signala možete podesiti koristeći desni potencijometar označen sa *speaker amplitude* (4). DC napon proporcionalan amplitudi signala dobija se na izlazu *SPEAKER AMPLITUDE* (6) (u odnosu na GND priključak (7)). Spomenuti brojevi odnose se na sliku 2 prikazanu u opštim uputama.
- Membrana zvučnika je delikatna. Povedite računa da nije izložena bilo kakvom bespotrebnom pritisku, bilo vertikalno ili bočno.

Dio A. Kritična amplituda pobuđenja (3.3 poena)

Prije nego počnete rješavati zadatak, spojite zvučnik sa terminalima na generatoru signala (uvjerite se da koristite ispravan polaritet). Stavite određeni broj (recimo 50) zrnaca u cilindar postavljen na zvučnik i iskoristite komad dobijene rukavice da zatvorite cilindar. Aktivirajte pobuđenje koristeći prekidač (8) i namještajte amplitudu okrećući desni potencijometar označen sa *speaker amplitude* (4) koristeći dati šarafciger. Posmatrajte sortiranje zrnaca za različite vrijednosti korištene amplitude.

Prvi zadatak je određivanje kritične amplitude pobuđivanja ovog prelaza. Da bismo ovo uradili, potrebno je mjeriti broj zrnaca N_1 i N_2 u odvojenim dijelovima cilindra (birajući oznake odvojenih dijelova tako da je $N_1 \leq N_2$) u funkciji upotrijebljene amplitude A_D , koja ustvari predstavlja napon kojeg mjerimo na *SPEAKER AMPLITUDE* izlazu (6). Napon kojeg mjerimo proporcionalan je amplitudi testerastog signala koji pobuđuje zvučnik. Napravite barem 5 mjerenja za svaku vrijednost napona

Uputa:

- Da bi se zrnca koja razmatramo u svakom trenutku kretala, koristite amplitude koje odgovaraju naponu na *SPEAKER AMPLITUDE*-u većem od 0.7 V. Izvođenje eksperimenta počnite posmatrajući ponašanje sistema za male promjene napona bez ikakvog brojanja zrnaca. Moguće je da se neka zrnca zalijepe za dno zbog elektrostatičkih razloga. U tom slučaju, nemojte brojati ova zrna.

A.1	Zapišite svoja mjerenja za broj čestica N_1 i N_2 u zasebnim polovinama cilindra za razne vrijednost amplitude A_D u Tabelu A.1 .	1.2pt
------------	--	-------

A.2	Izračunajte standarnu devijaciju za mjerenja N_1 i N_2 i rezultate zapišite u Tabelu A.1 . Na istom grafiku, Grafik A.2 , nacrtajte zavisnost veličina N_1 i N_2 u funkciji amplitude A_D uključujući i greške pri mjerenju N_1 i N_2	1.1pt
------------	---	-------

A.3	Na osnovu nacrtanog grafika, odredite kritičnu prikazanu amplitudu $A_{D,crit}$ pri kojoj je $N_1 = N_2$, nakon dovoljno dugo vremena i uspostavljanja stacionarnog stanja.	1pt
------------	--	-----

Dio B. Kaliibracija (3.2 poena)

Prikazana amplituda A_D , odgovara naponu koji je doveden na zvučnik. Međutim, fizikalno zanimljivija veličina je maksimalna udaljenost A koju membrana zvučnika pređe sa obje strane ravnotežnog položaja (dakle ukupna "dužina oscilovanja" i tamo i vamo) tokom oscilovanja. Udaljenost A odgovara mjeri pobuđenja zrnaca. Dakle, potrebno je kalibrisati prikazanu amplitudu A_D osmišljajući eksperiment u kojem možete koristiti bilo šta od materijala i opreme koja vam je na raspolaganju.

B.1	Skicirajte svoju postavku za mjerenje amplitude pobuđenja, tj. maksimalne udaljenosti koju pređe membrana zvučnika A (u mm) tokom jednog perioda oscilovanja.	0.5pt
------------	---	-------

B.2	Odredite amplitudu A u mm za odgovarajući broj tačaka, tj. zapišite vrijednost amplitude A u funkciji prikazane amplitude A_D u Tabelu B.2 i napišite neo-redenost vašeg mjerenja za A .	0.8pt
------------	---	-------

B.3	Koristeći izmjerene podatke nacrtajte Grafik B.3 , uključujući i grešku za vrijednosti amplitude A .	1.0pt
B.4	Odredite odječak i nagib pravca dobijene krive i zapišite funkciju $A(A_D)$.	0.8pt
B.5	Koristeći dobijene parametre krive odredite vrijednost kritične amplitude pobuđenja A_{crit} korištenih zrnaca.	0.1pt

Dio C. Kritični eksponent (3.5 poena)

U našem sistemu, temperatura odgovara ulaznoj kinetičkoj energiji pobuđenja. Ova energija proporcionalna je kvadratu brzine membrane zvučnika, tj. $v^2 = A^2 f^2$, gdje je f frekvencija oscilacija. U ovom dijelu ćemo testirati ovu zavisnost i odrediti vrijednost eksponenta b u eksponencijalnom zakonu datom jednačinom (1).

C.1	Nestabilnost definisana sa $\left \frac{N_1 - N_2}{N_1 + N_2} \right $ je dobar kandidat za parametar uređenja, s obzirom da je jednaka nuli za vrijednosti amplitude veće od kritične i jednaka 1 pri malom pobuđenju. Odredite kako ovaj kontrolni parametar zavisi od amplitude A . Rezultate zapišite u Tabelu C.1 .	1.1pt
C.2	Nacrtajte grafik nestabilnosti $\left \frac{N_1 - N_2}{N_1 + N_2} \right $ u funkciji od $ A^2 - A_{\text{crit}}^2 $, na Grafiku C.2. , gdje obje ose imaju logaritamsku podjelu (log-log ili dupli logaritamski papir). Koristite Tabelu C.1 za proračune. Moguće je da će unešene tačke odstupati od prave linije u mjeri da se posumnja u njihovu linearnu zavisnost. Međutim, neovisno od toga uradite linearnu regresiju kako biste zadovoljili formulu za kritični eksponent.	1pt
C.3	Odredite eksponent b i procijenite grešku.	1.4pt