

Skakutajuće perlice - Model faznih prijelaza i nestabilnosti (10 bodova)

Molimo vas pročitajte opće upute u posebnoj omotnici prije nego započnete ovaj zadatak.

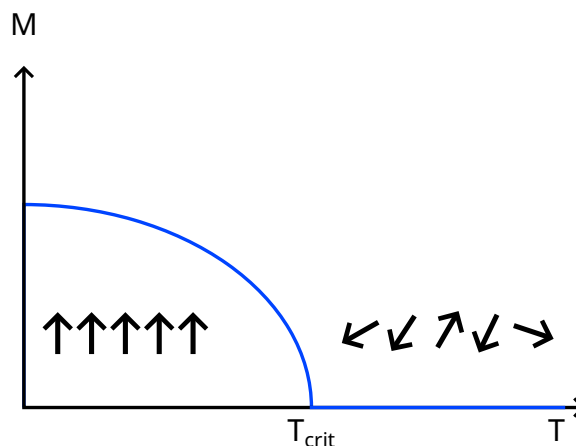
Uvod

Fazni prijelazi su dobro poznati iz svakodnevnog života, npr. voda se nalazi u različitim stanjima: čvrstom, tekućem i plinovitom. Ova različita stanja su odvojena faznim prijelazima, u kojima se kolektivno ponašanje molekula mijenja. Takav fazni prijelaz je uvijek povezan s temperaturom prijelaza, pri kojoj se stanje mijenja, tj. temperaturama smrzavanja ili vrenja vode u gornjem primjeru.

Fazni prijelazi su čak i više rašireni i događaju se i u drugačijim sustavima, kao što su magneti ili supravodiči, gdje se ispod temperature prijelaza makroskopsko stanje mijenja iz paramagneta u feromagnet odnosno iz normalnog vodiča u supravodič.

Svi ovi prijelazi mogu se opisati zajedničkim okvirom kada se uvede takozvani parametar uređenja. Primjerice, u magnetizmu je parametar uređenja povezan s usmjerenjem magnetskih momenata atoma s makroskopskom magnetizacijom.

U takozvanim neprekidnim faznim prijelazima, parametar uređenja će uvijek biti nula iznad kritične temperature te zatim neprekidno rasti ispod iste, kako je prikazano shematski za magnet na slici 1 ispod. Temperatura prijelaza neprekidnog faznog prijelaza se naziva kritičnom temperaturom. Slika također prikazuje shematski prikaz makroskopskog reda, odnosno nereda, u slučaju magneta, gdje se pojedini magnetski momenti usmjeravaju u istom smjeru tvoreći feromagnetsko stanje i makroskopsku magnetizaciju, dok su nasumično orijentirani u paramagnetskoj fazi s makroskopskom magnetizacijom nula.



Slika 1: Shematski prikaz temperaturne ovisnosti parametra uređenja M pri faznom prijelazu. Ispod kritične temperature T_{crit} , parametar uređenja raste i nije jednak nuli, dok je jednak nuli pri temperaturama iznad T_{crit} .

Za neprekidne fazne prijelazima može se primijetiti da parametar uređenja slijedi potencijalnu ovisnost, npr. u magnetizmu je magnetizacija M ispod kritične temperature, T_{crit} , dana s:

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

gdje je T temperatura. Ono što je još zadivljujuće je to da je ovo ponašanje općenito; eksponent ove potencijske ovisnosti je isti za mnogo različitih vrsta faznih prijelaza.

Zadatak

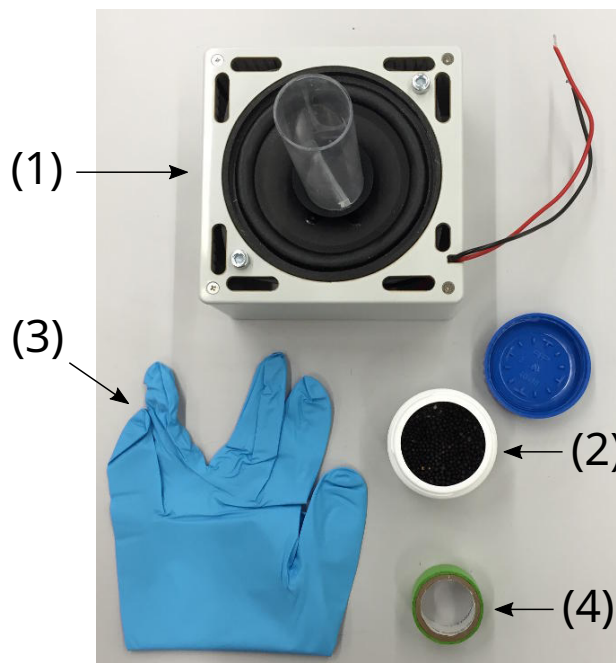
Proučavat ćete jednostavan primjer gdje se neke od značajki neprekidnih faznih prijelaza mogu proučavati, kao što su kako nestabilnost vodi ka kolektivnom ponašanju čestica i time do faznog prijelaza kao i kako makroskopska promjena ovisi o pobuđenju čestica.

U uobičajenim faznim prijelazima ovo pobuđenje je obično pobuđeno temperaturom. U ovom primjeru, pobuđenje se sastoji od kinetičke energije čestica ubrzanih pomoću zvučnika. Makroskopska promjena koja odgovara faznom prijelazu koji ovdje proučavamo sastoji se od sortiranja perlica u jednu polovicu valjaka, koja je odvojena malim zidom.

Povećavajući amplitudu kod koje se čestice sortiraju u jednu polovicu valjka, primijetit ćete da će se čestice naposljetku raspodijeliti podjednako između dvije polovice. Ovo odgovara zagrijavanju na temperaturu iznad kritične.

Vaš cilj je odrediti kritični eksponent za model faznog prijelaza koji je ovdje proučavan.

Popis pribora



Slika 2: Dodatna oprema za ovaj eksperiment.

1. Sklop zvučnika s plastičnim valjkom postavljenom na vrhu
2. Oko 100 sjemenki maka (u plastičnoj posudi)
3. Rukavica

4. Ljepljiva traka

Važne mjere predostrožnosti

- Ne primjenjujte prekomjernu bočnu silu na plastični valjak postavljen na zvučnik. Imajte na umu da nećete dobiti zamjenski u slučaju da potrgate membranu zvučnika ili otkinete plastični valjak.
- Ugasite zvučnik kad god ga ne koristite da bi izbjegli nepotrebno trošenje baterije.
- U ovom eksperimentu, 4 Hz pilasti signal je na izlazu utora zvučnika koji se nalaze sa strane generatora signala.
- Amplituda pilastog signala može se namjestiti koristeći desni potencijometar označen sa *speaker amplitude* (4). DC napon proporcionalan amplitudi signala je izlaz na *speaker amplitude* utičnici za promatranje (6) (s obzirom na *GND* utičnicu (7)). Brojevi odgovaraju fotografiji (Slika 2) prikazanoj u općim uputama.
- Membrana zvučnika je osjetljiva. Pripazite da ju nepotrebno ne pritišćete na bilo koji način, niti vertikalno niti bočno.

Dio A. Kritična amplituda pobuđenja (3.3 boda)

Prije nego što započnete raditi ovaj dio zadatka, povežite zvučnik s utorima sa strane generatora signala (pripazite da koristite ispravan polaritet). Uspite nešto (recimo 50) sjemenki maka u valjak koji je postavljen na zvučnik i iskoristite dio dobivene gumene rukavice da prekrite otvor valjka odozgo kako sjemenke maka ne bi ispadale iz valjka tijekom eksperimenta. Uključite izvor pobuđenja koristeći prekidač i namjestite amplitudu okretanjem desnog potenciometra označenog sa *speaker amplitude* (4) koristeći odvijač koji vam je na raspolaganju. Promotrite sortiranje perlica pri različitim amplitudama.

Vaš prvi zadatak je odrediti kritičnu amplitudu pobuđenja ovog faznog prijelaza. Da biste to uradili, potrebno je odrediti broj perlica N_1 i N_2 u dva odjeljka (birajući oznake odjeljaka tako da je $N_1 \leq N_2$) kao funkciju prikazane amplitude A_D , koja predstavlja napon koji mjerite na izlazu priključka *speaker amplitude* (6). Taj napon je proporcionalan amplitudi pilastog vala kojim se pogoni zvučnik. Načinite najmanje po 5 mjerenja za svaki napon.

Hint:

- Kako biste osigurali da vam u eksperimentu sjemenke koje pručavate uvijek poskakuju, proučavajte samo amplitude koji odgovaraju naponima na priključku *speaker amplitude* koji su veći od 0.7 V. Započnite promatranje sustava mijenjajući lagano napon bez brojanja perlica. Može se dogoditi da se neke od perlica zalijepe uslijed elektrostatskih razloga. Nemojte brojati ove perlice.

A.1 Unesite svoja mjerenja brojeva čestica N_1 i N_2 u svakom od odjeljaka valjka pri različitim amplituda A_D u **Tablicu A.1** 1.2pt

A.2 Izračunajte standardnu devijaciju vaših mjerenja N_1 i N_2 te rezultate upišite u **Tablicu A.1**. Prikažite N_1 i N_2 kao funkciju prikazane amplitude A_D na **Grafu A.2**, zajedno s pripadajućim nepouzdanostima. 1.1pt

A.3 Koristeći vaš graf, odredite kritičnu prikazanu amplitudu $A_{D,crit}$ pri kojoj su brojevi N_1 i N_2 jednaki, $N_1 = N_2$, nakon čekanja dovoljno dugo vremena dok se ne uspostavi stacionarno stanje. 1pt

Dio B. Kalibracija (3.2 boda)

Prikazana amplituda A_D , odgovara naponu priključenom na zvučnik. Međutim, fizikalno zanimljiva veličina je najveća elongacija oscilacija A membrane zvučnika, budući da nam ona govori koliko snažno se sjemenke pobuđuju. Stoga, potrebno je kalibrirati prikazanu amplitudu A_D . Za ovo uraditi, možete koristiti bilo što od opreme i materijala koji su vam na raspolaganju.

B.1 Skicirajte postav za mjerenje amplitude pobuđenja, tj. najveće elongacije A (u mm) oscilacija membrane zvučnika. 0.5pt

B.2 Izmjerite amplitudu A u mm za prikladan broj točaka, tj. zabilježite amplitudu A kao funkciju prikazane amplitude A_D u **Tablicu B.2** s pripadajućim nepouzdanostima u mjerenjima. 0.8pt

B.3 Prikažite podatke na **Grafu B.3**, zajedno s pripadajućim nepouzdanostima. 1.0pt

B.4 Odredite parametre dobivene krivulje koristeći prikladan fit da odredite kalibracijsku funkciju $A(A_D)$. 0.8pt

B.5 Odredite kritičnu amplitudu pobuđenja, A_{crit} , sjemenki maka. 0.1pt

Dio C. Kritični eksponent (3.5 boda)

U našem sustavu, temperatura odgovara kinetičkoj energiji pobuđenja. Ova energija je proporcionala kvadratu brzine membrane zvučnika, tj. $v^2 = A^2 f^2$, gdje je f frekvencija oscilacija. Provjeriti ćete ovisnost i odrediti eksponent b u potencijalnoj ovisnosti koja opisuje parametar uređenja (pogledaj jed. 1.)

C.1 Omjer $\left| \frac{N_1 - N_2}{N_1 + N_2} \right|$ je dobar kandidat za parametar uređenja u našem slučaju u tome da je on jednak nuli iznad kritične amplitude, a jednak je 1 pri malim pobuđenjima. Odredite ovaj parametar uređenja kao funkciju amplitude A . Upišite svoje rezultate u **Tablicu C.1**. 1.1pt

C.2 Prikažite neuravnoteženost $\left| \frac{N_1 - N_2}{N_1 + N_2} \right|$ kao funkciju od $|A_{crit}^2 - A^2|$, na **Grafu C.2**, gdje su obje osi logaritamskoj skali (log-log graf). Možete koristiti **Tablicu C.1** za vaše račune. Može se doimati da točke na grafu ne slijede linearnu ovisnost, no potrebno je svejedno provesti linearnu regresiju koja odgovara formuli za kritični eksponent. 1pt

C.3 Odredite parametar b i procijenite pogreške. 1.4pt