

Poskočna semena - model faznega prehoda in nestabilnosti (10 točk)

Preden se lotiš reševanja naloge preberi Splošna navodila.

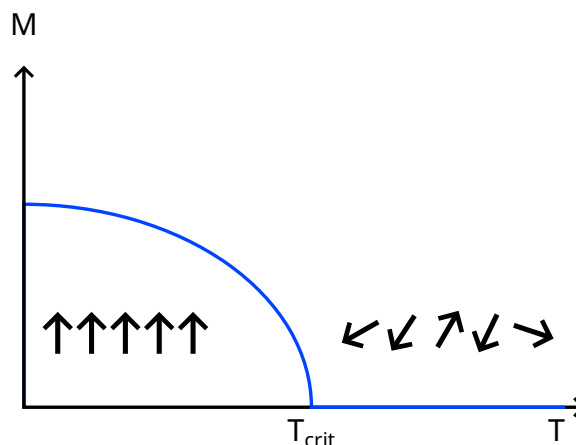
Uvod

Fazni prehodi so dobro znani iz vsakdanjega življenja, vodo najdemo, na primer, v različnih agregatnih stanjih, kot trden led, kot tekočo vodo ali kot plin (paro). Ta stanja so med seboj ločena s tako imenovanimi faznimi prehodi, kjer se kolektivno obnašanje molekul v snovi spremeni. Vsak tak fazni prehod je povezan z značilno temperaturo prehoda, kjer se stanje snovi spremeni, na primer ledišče ali vrelišče vode v prej omenjenih primerih.

Fazni prehod kot pojav je dejansko zelo splošen pojav. V naravi se pogosto pojavljajo fazni prehodi tudi v drugačnih sistemih, na primer v magnetizmu in pri obravnavi superprevodnih snovi, kjer se pod temperaturo prehoda makroskopsko stanje po vrsti spremeni iz paramagnetnega v feromagnetno ali iz običajnega prevodnega v superprevodno stanje.

Vse take fazne prehode lahko opišemo na podoben način z vpeljavo tako imenovanega parametra reda. V magnetizmu parameter reda meri stopnjo poravnosti magnetnih momentov atomov z makroskopsko magnetizacijo.

V splošnem je parameter reda pri tako imenovanih zveznih faznih prehodih nad kritično temperaturo enak nič, pod to temperaturo pa zvezno narašča, kot shematsko kaže za magnetni sistem slika 1. Temperatura prehoda se pri zveznih faznih prehodih imenuje kritična temperatura. Slika 1 vsebuje tudi shematski prikaz mikroskopskega reda oziroma nereda za magnetni sistem, tako da so posamezni magnetni momenti predstavljeni s poravnanimi puščicami v feromagnetnem stanju, kjer se zato pojavi makroskopska magnetizacija, in z naključno orientiranimi puščicami v paramagnetnem stanju, kjer je zato makroskopska magnetizacija enaka nič.



Slika 1: Shematski prikaz temperaturne odvisnosti parametra reda (magnetizacije M) v bližini temperature faznega prehoda. Pod kritično temperaturo T_{crit} parameter reda z nižanjem temperature narašča in je različen od nič. Nad kritično temperaturo T_{crit} je parameter reda enak nič.

V splošnem se za zvezne fazne prehode izkaže, da je parameter reda pod temperaturo prehoda v bližini

faznega prehoda potenčno odvisen od temperature, na primer, magnetizacija M pod kritično temperaturo T_{crit} je takole odvisna od temperature:

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

kjer je T temperatura. Kar je najbolj presenetljivo, je, da je obnašanje univerzalno, eksponent b je enak za veliko različnih faznih prehodov.

Naloga

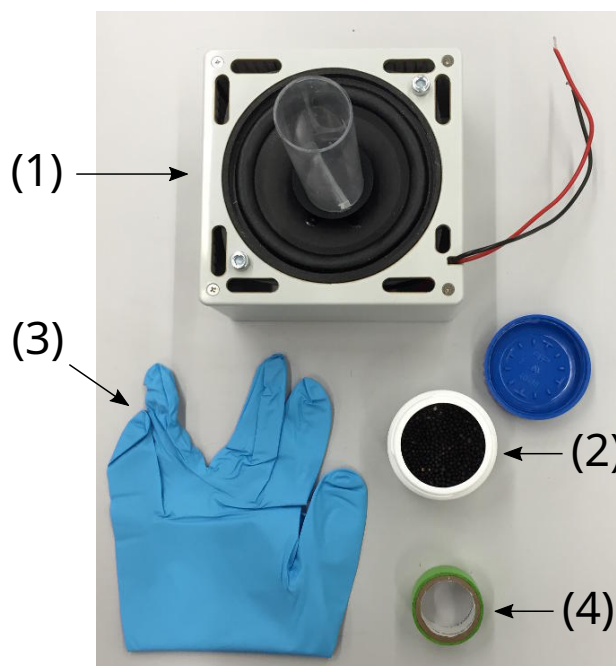
V nalogi obravnavamo preprost primer, kjer lahko raziskujemo lastnosti zveznih faznih prehodov, na primer, kako lahko kolektivno obnašanje delcev povzroči nestabilnost faze in tako vodi do faznega prehoda ali kako so makroskopske lastnosti odvisne od energije delcev.

V običajnih faznih prehodih je energija delcev odvisna od temperature. V našem primeru delce, ki so makova semena, vzbuja membrana zvočnika, ki jih odbija v navpični smeri in jim tako uravnava kinetično energijo. Makroskopska sprememba, ki ustreza faznemu prehodu, ki ga obravnavamo, je sprememba števila semen v vsaki polovici plastičnega valja, ki ga prepolavlja majhna stena.

Če od stanja, kjer je v eni polovici valja več semen kot v drugi, dovolj povečamo amplitudo nihanja zvočnika, se semena razporedijo enakomerno med obe polovici. Tako stanje ustreza temperaturi nad kritično temperaturo.

Cilj naloge je, da določiš kritični eksponent modela faznega prehoda, ki ga obravnavamo v nalogi.

Seznam potrebščin



Slika 2: Dodatne potrebščine za ta eksperiment.

1. Zvočnik v ohišju s plastičnim valjem, pritrjenim na zvočnik.
2. Približno 100 makovih semen (v plastični posodici).
3. Rokavica.
4. Lepilni trak.

Pomembna opozorila

- Ne premikaj na silo plastičnega valja, ki je pritrjen na zvočnik. Vedi, da ni zamenjave za valj oziroma zvočnik, če boš strgal membrano zvočnika ali odlomil plastični valj.
- Izklaplaj zvočnik, kadarkoli ga ne uporabljaš, da ne prazniš baterije po nepotrebem.
- V tem eksperimentu je na izhodu signalnega generatorja za zvočnik žagasta napetost s frekvenco 4 Hz. Izhod za zvočnik je ob strani signalnega generatorja.
- Amplitudo žagaste napetosti nastavljaš z desnim potenciometrom z oznako *speaker amplitude* (4). Med izhodom z oznako *speaker amplitude* (6) in izhodom z oznako *GND* (7) je enosmerna napetost, ki je sorazmerna z amplitudo signala za zvočnik. Številke v besedilu se nanašajo na sliko 2 v Splošnih navodilih.
- Membrana zvočnika je nežna. Pazi, da ne pritiskaš preveč na membrano tako v vertikalni kot v vodoravni smeri.

Del A. Amplituda kritičnega vzburjanja. (3.3 točke)

Preden začneš reševati nalogo, priključi zvočnik na ustrezeni izhod signalnega generatorja. Pri tem pazi na pravo polariteto. Vsuj približno 50 makovih semen v plastični valj na zvočniku. Iz rokavice izreži en del in z njim zapri valj na vrhu, da semena med poskusom ne bodo letela ven. Vklopi vzburjanje s preklopnim stikalom na signalnem generatorju in nastavi amplitudo z vrtenjem potenciometra z oznako *speaker amplitude* (4). Potenciometer vrtiliš z izvijačem. Opazuj, kako se semena porazdelijo med obe polovici pri različnih amplitudah vzburjanja.

V prvi nalogi moraš določiti kritično amplitudo vzburjanja za ta prehod. Da to lahko narediš, moraš določiti povprečno število semen N_1 in N_2 v obeh polovici valja (vsakič izbereš oznaki tako, da je $N_1 \leq N_2$) kot funkcijo prikazane amplitude A_D , ki jo definiramo kot napetost merjeno med izhodoma (6) in (7). Ta napetost je sorazmerna amplitudi žagaste napetosti, ki poganja membrano zvočnika. Pri vsaki napetosti naredi vsaj 5 meritev.

Namig:

- Da boš dobil vedno od amplitude odvisno porazdelitev semen, preiskuj porazdelitev samo z amplitudami, ki ustrezajo napetostim *speaker amplitude* nad 0.7 V. Začni z opazovanjem obnašanja sistema tako, da samo počasi spreminjaš napetost brez štetja semen. Lahko se ti zgodi, da se nekaj semen ves čas drži tal zaradi elektrostatičnega privlaka. Teh semen nikakor ne upoštevaj nikjer.

A.1	Zapiši svoje meritve števila semen N_1 in N_2 v vsaki polovici valja za različne amplitude A_D v Tabelo A.1 .	1.2pt
A.2	Izračunaj napake povprečja svojih meritev N_1 in N_2 in jih napiši v Tabelo A.1 . Nariši N_1 in N_2 kot funkciji prikazane amplitude A_D na Graf A.2 . Na grafu prikaži tudi napake povprečja posameznih meritev.	1.1pt
A.3	Iz grafov določi kritično vrednost prikazane amplitude $A_{D,crit}$, nad katero sta povprečni vrednosti N_1 in N_2 enaki.	1pt

Del B. Kalibracija (3.2 točke)

Prikazana amplituda A_D je sorazmerna amplitudi napetosti na zvočniku. Vendar pa je količina, ki nas zares zanima, razdalja A med skrajnima legama nihajoče membrane zvočnika, saj ta razdalja določa energijo semen. Zato je potrebno kalibrirati prikazano amplitudo. Za kalibracijo lahko uporabiš karkoli od vseh potrebščin, ki jih imaš.

B.1	Skiciraj postavitev poskusa, s katerim meriš amplitudo vzburjanja A (v mm), to je razdaljo med skrajnima legama membrane zvočnika med nihanjem.	0.5pt
B.2	Izmeri primerno število amplitud vzburjanja A (v mm), zapiši torej odvisnost amplitude vzburjanja A kot funkcijo prikazane amplitude A_D v Tabelo B.2 in določi tudi napako (nedoločenost) svojih meritev.	0.8pt
B.3	Nariši meritve v Graf B.3 skupaj z napakami (nedoločenostmi).	1.0pt

B.4 V primernem območju s preprosto funkcijo opiši umeritveno krivuljo, določi njeno parametra in zapiši enačbo kalibracijske funkcije $A(A_D)$. 0.8pt

B.5 Določi kritično amplitudo vzburjanja A_{crit} makovih semen. 0.1pt

Del C. Kritični eksponent (3.5 točke)

V našem sistemu temperaturi ustreza kinetična energija vzburjenih semen. Ta energija je sorazmerna kvadratu hitrosti membrane, torej $v^2 = A^2 f^2$, kjer je f frekvenca nihanja membrane. Zdaj boš testiral to odvisnost in določil eksponent b potenčne odvisnosti, ki opisuje obnašanje parametra reda (glej enačbo (1)).

C.1 Dober kandidat za parameter reda v našem sistemu je neravnovesje $\left| \frac{N_1 - N_2}{N_1 + N_2} \right|$, 1.1pt
 ker je nič nad kritično amplitudo vzburjanja in je enako 1 pri majhnih amplitudah vzburjanja. Določi odvisnost tega parametra reda od amplitude vzburjanja A . Zapiši svoje rezultate v **Tabelo C.1**.

C.2 Nariši neravnovesje $\left| \frac{N_1 - N_2}{N_1 + N_2} \right|$ kot funkcijo $|A_{\text{crit}}^2 - A^2|$ v **Graf C.2**. Rišeš lahko 1pt
 na dvojnem logaritemskem papirju (**Graf C.2a**) ali na navadnem milimetrskem papirju (**Graf C.2b**). Pri računih si lahko pomagaš s **Tabelo C.1**. Točke na grafu so lahko videti, kot da niso na premici, a kljub temu skozi nje nariši najbolje prilegajočo se premico, da boš lahko določil kritični eksponent.

C.3 Določi eksponent b in oceni napako (nedoločenost). 1.4pt