

Lēkājošās lodītes - Fāzu pāreju un nestabilitāšu vienkāršais modelis (10 punkti)

Pirms sāc risināt šo uzdevumu, izlasi vispārīgos norādījumus, kas atrodami atsevišķajā aploksnē.

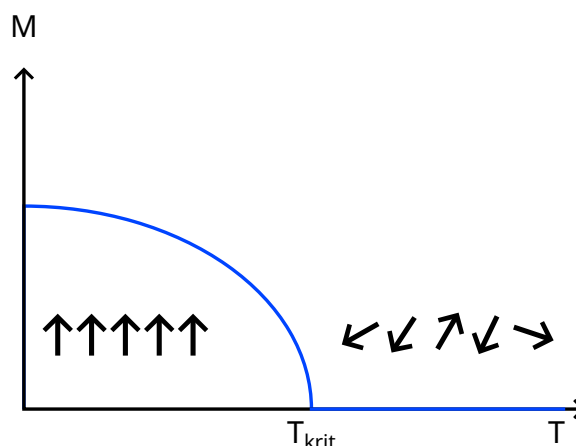
Ievads

Fāzu pārejas ir plaši sastopamas ikdienā, piemēram, ūdens var pastāvēt atšķirīgos agregātstāvokļos — ciets, šķidrums vai gāzveida. Starp šiem stāvokļiem ir iespējamās fāzu pārejas, kurās mainās vielas molekulu kolektīvās uzvedības raksturs. Šāda fāzu pāreja vienmēr ir saistīta ar fāzu pārejas temperatūru, pie kuras stāvoklis mainās, piemēram, ūdens sasaldēšanas un vārīšanās temperatūras augstākminētajā piemērā.

Fāzu pārejas ir ļoti daudzveidīgas un plaši sastopamas arī citās sistēmās, piemēram, magnētos un supravadītājos, kad pie temperatūras, kas ir zemāka par pārejas temperatūru, makroskopiskais stāvoklis mainās — pirmajā gadījumā no paramagnētiska uz feromagnētisku, otrajā gadījumā no normāli vadoša uz supravadošu.

Visas šīs pārejas var aprakstīt vienotā veidā, izmantojot kārtības parametra jēdzienu. Piemēram, magnētiskās fāzu pārejas gadījumā kārtības parametrs tiek saistīts ar atomu magnētisko momentu orientāciju makroskopiskās magnētizācijas virzienā.

Tā saucamajās nepārtrauktajās fāzu pārejās kārtības parametrs ir vienāds ar nulli virs kritiskās temperatūras, bet temperatūrai nokrītot zem kritiskās tas sāk nepārtraukti pieaugt, kā attēlots shematiski magnēta gadījumam 1. attēlā. Pārejas temperatūru nepārtrauktajā fāzu pārejā sauc par kritisko temperatūru. 1. attēlā ir ieskicēta arī individuālo mikroskopisko magnētisko momentu orientācija sakārtotajā un nesakārtotajā fāzē. Feromagnētiskajā fāzē tie ir vērsti vienā virzienā, kas noved pie makroskopiskās magnetizācijas, savukārt paramagnētiskajā fāzē tie ir sagriezti nejauši un veido nulles makroskopisko magnetizāciju.



1. attēls. Kārtības parametra M atkarības no temperatūras shematiskais attēlojums. Zem kritiskās temperatūras T_{krit} kārtības parametrs ir atšķirīgs no nulles, savukārt virs T_{krit} tas ir vienāds ar nulli.

Nepārtrauktajās fāzu pārejās kārtības parametrs kritiskās temperatūras tuvumā mainās atbilstoši pakā-

pes likumam. Piemērā ar magnētu magnetizācija M zem kritiskās temperatūras T_{krit} ir aprakstāma ar

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

kur T ir temperatūra. Kas ir vēl pārsteidzošāks, šāda uzvedība ir universāla: pakāpes likuma pakāpes rādītājs ir viens un tas pats daudziem fāzu pāreju veidiem.

Uzdevums

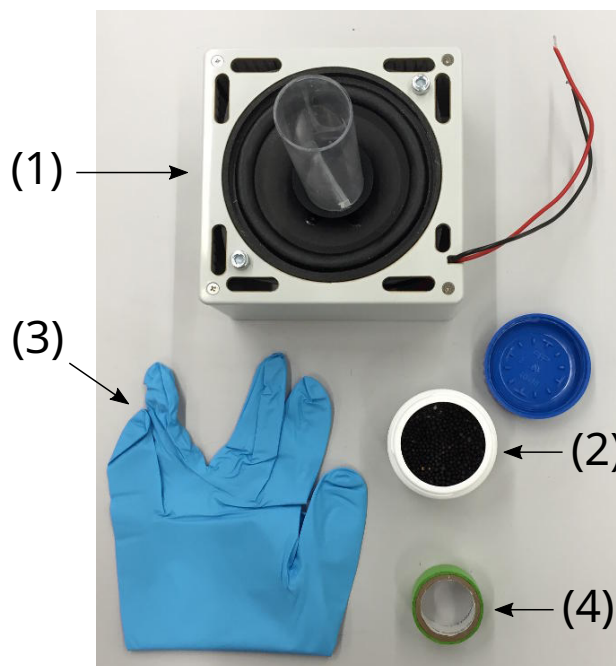
Mēs izpētīsim vienkāršu piemēru, kas palīdz saprast vairākas nepārtraukto fāzu pāreju īpašības, piemēram, kā nestabilitāte ietekmē daļiņu kolektīvo uzvedību un izraisa fāzu pāreju kā arī kā makroskopiskā izmaiņa ir atkarīga no daļiņu ierosmes pakāpes.

Parastajās fāzu pārejās šo ierosmi nodrošina temperatūra. Mūsu piemērā ierosme ir daļiņu kinētiskā enerģija, ko uztur skaļrunis, paātrinot daļiņas vertikālā virzienā. Makroskopiskā izmaiņa, kas ir analoģiska pētāmajai fāzu pārejai, ir lodīšu koncentrēšanās vienā no cilindra pusēm (cilindrs ir sadalīts divās daļās ar nelielu sienīņu pa vidu).

Sākot ar situāciju, kurā daļiņas ir savākušās vienā pusē, un, palielinot amplitūdu, tu novērosi, ka daļiņas sadalās vienlīdzīgi starp cilindra abām pusēm. Tas atbilst uzsildīšanai virs kritiskās temperatūras.

Tavs uzdevums ir noteikt kritisko pakāpes rādītāju šim fāzu pārejas modelim.

Piederumu saraksts



Papildus piederumi šim eksperimentam.

1. Skaļruņa bloks ar skaļruni un tam piestiprināto plastmasas cilindru
2. Aptuveni 100 magoņu sēkliņas (plastmasas traukā)
3. Cimds
4. Līmlente

Būtiski norādījumi!

- Pārmērīgs spēks, kas pielikts plastmasas cilindram horizontālā virzienā, var to noraut. Saplēstu membrānu vai norautu cilindru aizvietot nevarēs!
- Turi skaļruņa bloku izslēgtu, kad tas netiek izmantots, lai lieki netērētu baterijas lādiņu.
- Šajā eksperimentā zāģveida signāls ar frekvenci 4 Hz tiek izvadīts uz skaļruni no signālu ģeneratora spailēm, kuras ir atrodamas uz ģeneratora sāniem.
- Žāģveida signāla amplitūdu var iestatīt izmantojot potenciometru labajā pusē, kas ir apzīmēts ar *speaker amplitude* (4). Līdzspriegums starp ligzdu (6) ("*speaker amplitude*" novērošana) un ligzdu (7) (zeme *GND*) ir proporcionāls ģenerējamā zāģveida signāla amplitūdai. Numuri attiecas uz fotogrāfiju (2. attēls) vispārīgo norādījumu sadaļā.
- Skaļruņa membrāna ir trausla! Uzmanies, lai nerautu to ar pārlietu lielu spēku gan vertikālā, gan horizontālā virzienā.

A daļa. Ierosmes kritiskā amplitūda (3.3 punkti)

Vispirms pievieno skaļruni pie izvadiem uz signālu ģeneratora sāniem (ievērojot polaritāti!). Ieber aptuveni 50 magoņu sēkliņu cilindrā, kas ir nostiprināts uz skaļruņa, un noslēdz to ar no cimda izgrieztu gabalu tā, lai sēkliņas nevarētu izlēkt ārā no cilindra. Ieslēdz ģeneratoru ar slēdzi un noregulē amplitūdu, griežot pa labi esošo potenciometru, kurš ir apzīmēts ar *speaker amplitude* (4), ar skrūvgriezi. Vēro, kā lodītes sakārtojas pie dažādām amplitūdām.

Pirmais uzdevums ir noteikt pētāmajai pārejai nepieciešamo ierosmes amplitūdas kritisko vērtību. Šim nolūkam nosaki lodīšu skaitu divos nodalījumos N_1 un N_2 (nodalījumu numurus izvēlies tā, lai $N_1 \leq N_2$) atkarību no novērojamās amplitūdas A_D , kuras mērs ir spriegums uz "*speaker amplitude*" ligzdas (6). Šis spriegums ir proporcionāls zāģveida signāla, kurš tiek padots uz skaļruņa, amplitūdai. Katrai sprieguma vērtībai veic vismaz 5 mērījumus.

Padoms:

- Lai nodrošinātu pētamo daļiņu nemitīgu kustību, pēti tikai tās amplitūdas, kas atbilst *speaker amplitude* spriegumiem lielākiem par 0.7 V. Sāc ar vienkāršu vērošanu, bez skaitīšanas, lēnu mainot spriegumu. Dažas lodītes var pielipt pie pamatnes elektrostatisko spēku iedarbībā. Tās nevajag skaitīt.

A.1	Pieraksti izmērīto daļiņu skaitu N_1 un N_2 katrā no trauka pusēm pie dažādām amplitūdas A_D vērtībām Tabulā A.1 .	1.2pt
A.2	Aprēķini standartnovirzes saviem N_1 un N_2 mērījumiem un pieraksti tās Tabulā A.1 . Attēlo N_1 un N_2 atkarību no novērojamās amplitūdas A_D Grafikā A.2 , iekļaujot atbilstošos kļūdu intervālus.	1.1pt
A.3	Izmantojot savu grafiku, nosaki kritisko novērojamās amplitūdas vērtību $A_{D,krit}$ pie kuras $N_1 = N_2$ ja tiktu sagaidīts stacionārais stāvoklis.	1pt

B daļa. Kalibrācija (3.2 punkti)

Novērojamā amplitūda A_D atbilst spriegumam, kas tiek padots uz skaļruni. Turpretī, fizikāli interesants lielums ir skaļruņa svārstību maksimālā novirze A , jo tieši šis lielums nosaka, cik spēcīgi lodītes tiek ierosinātas. Tādējādi, Tev būs jānokalibrē novērojamā amplitūda. Šim nolūkam tu vari lietot jebkurus piederumus un instrumentus no piedāvātajiem.

B.1	Uzskicē eksperimentālo iekārtu, kas ļauj izmērīt patieso iersonājuma amplitūdu, proti, maksimālo skaļruņa pārvietojumu A (milimetros) viena perioda laikā.	0.5pt
B.2	Nosaki amplitūdu A (milimetros) piemērotam punktu skaitam, proti, pieraksti amplitūdu A kā funkciju no novērojamās amplitūdas Tabulā B.2 . Norādi savu mērījumu kļūdas.	0.8pt
B.3	Uzzīmē savus datus Grafikā B.3 , iekļaujot kļūdas.	1.0pt

B.4 Nosaki iegūtās līknes parametrus, izmantojot piemērotu aproksimāciju, kas apraksta kalibrācijas funkciju $A(A_D)$. 0.8pt

B.5 Nosaki magoņu sēkliņu ierosmes amplitūdas kritisko vērtību A_{krit} . 0.1pt

C daļa. Kritiskais pakāpes rādītājs (3.5 punkti)

Mūsu sistēmā temperatūras analogs ir ierosmes kinētiskā enerģija. Šī enerģija ir proporcionāla ātruma, ar kuru pārvietojas skaļrunis, kvadrātam, proti, proporcionāla $v^2 = A^2 f^2$, kur f ir svārstību frekvence. Tagad mēs pārbaudīsim šo atkarību un noteiksim kritisko pakāpes rādītāju b pakāpes likumam, kas apraksta kārtības parametra uzvedību (skaties vienādojumu 1).

C.1 Kontrasts $\left| \frac{N_1 - N_2}{N_1 + N_2} \right|$ ir piemērots kandidāts kārtības parametra raksturošanai mūsu sistēmā, jo tas ir vienāds ar nulli virs kritiskās amplitūdas un vienāds ar 1 pie vājas ierosmes. Nosaki šī kārtības parametra atkarību no amplitūda A . Pieraksti savus rezultātus **Tabulā C.1**. 1.1pt

C.2 Uzzīmē kontrastu $\left| \frac{N_1 - N_2}{N_1 + N_2} \right|$ kā $|A_{\text{krit}}^2 - A^2|$ funkciju **Grafikā C.2**, kurā abām asīm ir logaritmiskais mērogs (dubultloaritmiskais grafiks). Vari izmantot **Tabulu C.1** saviem aprēķiniem. Punkti izkārtojuma uz grafika var neizskatīties pēc taisnes, bet tam par spīti lieto lineāro regresiju atbilstoši kritiskā pakāpes rādītāja formulai. 1pt

C.3 Nosaki kritisko pakāpes rādītāju b un novērtē tā kļūdu. 1.4pt