

Перлице које скачу - Модел фазних прелаза и нестабилности (10 поена)

Молимо вас да прочитате општа упутства из посебног коверта пре него што почнете са задатком.

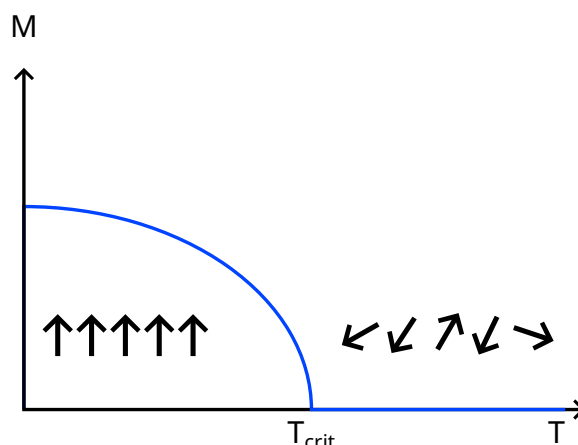
Увод

Фазни прелази су добро познати у свакодневном животу, на пример, вода може да буде у различитим стањима: чврстом, течном и гасовитом. Ова стања су раздвојена фазним прелазима при којима се колективно понашање молекула у материјалу мења. Таквим фазним прелазима је увек придружена температура прелаза, на којој се стање мења. Пример температуре прелаза је температура мржњења и температура кључања воде.

Фазни прелази су ипак много распрострањенији и јављају се такође у другим системима, као што су магнети или суперпроводници, где се испод температуре прелаза макроскопско стање мења од парамагнета у феромагнет и од нормалног метала у суперпроводник, респективно.

Сви параметри се могу описати на исти начин када се уведе такозвани параметар поретка. На пример, у магнетизму параметар поретка је придружен уређивању магнетних момената атома у правцу макроскопске магнетизације.

У случају такозваног континуалног фазног прелаза параметар поретка је увек једнак нули изнад критичне температуре и непрекидно расте испод ње, као што је схематски приказано на слици 1 испод. Температура прелаза континуалног фазног прелаза се назива критична температура. Слика такође садржи и схематски приказ микроскопског уређења или неуређености у случају магнета, где се појединачни магнетни моменти уређују у феромагнетној фази утичући тако на повећавање макроскопске магнетизације, док су у парамагнетној фази случајно орјентисани дајући нулу за макроскопску магнетизацију.



Слика 1: Схематски приказ температурске зависности параметра поретка M приликом фазног прелаза. Испод критичне температуре T_{crit} , параметар поретка расте и различит је од нуле, док је једнак нули на температурама изнад T_{crit} .

За континуалне фазне прелазе, у општем случају важи да се параметар поретка близу прелаза понаша по степенском закону, на пример у магнетизму магнетизација M испод критичне температуре

T_{crit} је дата са:

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

где је T температура. Оно што је задивљујуће је да је овакво понашање универзално: експонент у овој степеној зависности је исти за многе различите фазне прелазе.

Задатак

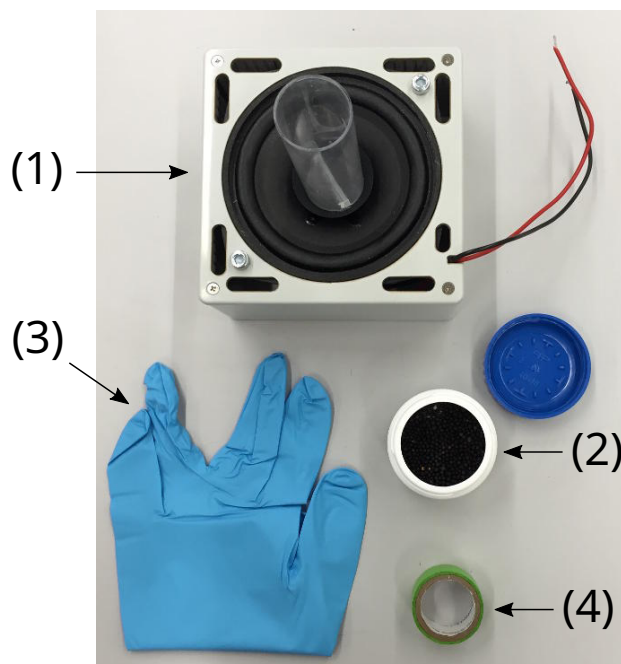
Проучаваћемо једноставан пример у коме неке особине континуалних фазних прелаза могу да се испитују, као на пример како нестабилност води ка колективном поншању честица и даље ка фазном прелазу, као и како макроскопска промена зависи од побуђења честица.

У обичним фазним прелазима ово побуђење је проузроковано променом температуре. У нашем примеру побуђење се састоји од кинетичке енергије честица убрзане звучником. Макроскопске промене које одговарају фазном прелазу који овде проучавамо се састоје од груписања перли у једној половини цилиндра, који је подељен малим зидом.

Повећавањем амплитуде од оне при којој су честице у једној половини цилиндра, наћи ћете коначно ону при којој су честице подједнако распоређене у обе половине. Ово одговара загревању преко критичне температуре.

Ваш задатак је да одредите критични експонент за модел фазног прелаза који се овде проучава.

Списак прибора



Слика 2: Додатни прибор за овај експеримент.

1. Уређај са звучником на чијем је врху причвршћен пластични цилиндар.
2. Око 100 перлица (у пластичној посуди).
3. Рукавица
4. Лепљива трака

Мере предострожности

- Немојте деловати прекомерном бочном силом на пластични цилиндар који је причвршћен на звучник. Неће бити омогућена замена у случају оштећења мембрана звучника или откидања пластичног цилиндра.
- Искључите уређај са звучником кад год га не користите, да би сте избегли непотребно трошење батерије.
- У овом експерименту тестерасти сигнал од 4 Hz је на излазу крајева звучника који се налазе са стране генератора сигнала.
- Амплитуда тестерастог сигнала се подешава коришћењем одговарајућег потенциометра означеног са *амплитуда сигнала* (4). Једносмерни напон пропорционалан амплитуди сигнала је на прикључку (6) контрола *амплитуде сигнала* (прикључак за уземљење је (7)). Бројеви означавају делове на фотографији (Слика 2) приказаној у општим упутствима.
- Мембрана звучника је нежна. Водите рачуна да је не притискате непотребно у било ком правцу.

Део А. Критична амплитуда побуђења (3,3 поена)

Пре него што почнете са основним задатком, повежите звучник са крајевима на страни генератора сигнала (водите рачуна о поларитету). Сипајте (око 50) перлице у цилиндар на звучнику и исеците део рукавице којим ћете затворити врх цилиндра, како бисте спречили испадање перлица. Укључите уређај са звучником и подешавајте амплитуду окретањем одговарајућег дугменцета означеног са *амплитуда сигнала* (4) уз помоћ приложеног шрафцигера. Посматрајте расподелу перлица за различите амплитуде сигнала.

Први задатак је да одредите критичну амплитуду побуђења за овај прелаз. Да бисте ово урадили потребно је да одредите број перлица N_1 и N_2 у два дела цилиндра (нека вам на пример увек буде $N_1 \leq N_2$) у зависности од амплитуде A_D , што одговара напону измереном на прикључку *амплитуда сигнала* (6). Напон је пропорционалан амплитуди тестерастог сигнала који производи звучник. За сваку вредност напона извршите најмање 5 мерења.

Помоћ:

- Да би се перлице увек кретале мерите за амплитуде које одговарају напонима већим од 0.7 V. Почните са посматрањем система тако што ћете лагано мењати напон, без бројања перлица. Може да се деси да нека перлица остане залепљена за подлогу, због електростатичких разлога. Немојте бројати те перлице.

A.1	Упишите вредности мерења бројева перлица N_1 и N_2 у обе половине цилиндра за различите вредности амплитуде A_D у табелу А. 1.	1.2pt
A.2	Израчунајте стандардно одступање за мерења N_1 и N_2 , и резултате упишите у табелу А. 1. Нацртајте N_1 и N_2 у зависности од амплитуде A_D у пољу график А. 2. , укључујући и грешке.	1.1pt
A.3	Користећи график одредите критичну амплитуду $A_{D,crit}$, за коју ће $N_1 = N_2$, после довољно времена чекања да се успостави стационарно стање.	1pt

Део В. Калибрација (3,2 поена)

Очитана амплитуда A_D , одговара напону на коме је звучник. Ипак, занимљива је и величина амплитуде осциловања звучника, пошто је повезана са тим колико јако су перлице побуђене. Потребно је да калибришете очитане амплитуде. За ову сврху можете да искористе било шта од приложеног материјала и прибора.

B.1	Скицирајте шему коју сте искористили да бисте одредили амплитуду осциловања A (у mm) звучника током једног периода осциловања.	0.5pt
B.2	Одредите амплитуду осциловања A у довољно тачака, односно прикажите A у функцији амплитуде сигнала A_D у табели В. 2. , процените и објасните грешку мерења.	0.8pt
B.3	Прикажите податке на графику у пољу график В. 3. , укључујући и грешке мерења.	1.0pt

B.4 Одредите параметре добијене криве, користећи одговарајући фит да одредите калибрациону функцију $A(A_D)$. 0.8pt

B.5 Одредите критичну амплитуду побуђења A_{crit} перлица. 0.1pt

Део С. Критични експонент (3.5 поена)

У нашем систему, температура одговара кинетичкој енергији коју честице добијају побуђивањем. Ова енергија је пропорционална квадрату брзине добијене од звучника, односно $v^2 = A^2 f^2$, где је f фреквенција осцилација. Сада ћете проверити ову зависност и одредити експонент b из степеног закона који описује понашање параметра поретка (једначина 1).

C.1 Неуравнотеженост броја перлица је добар кандидат за параметар поретка нашег система, она је једнака нули изнад критичне амплитуде сигнала, а једнака 1 за мала побуђења. Одредите овај параметар поретка у зависности од амплитуде осциловања звучника A . Прикажите резултате у **табели С. 1**. 1.1pt

C.2 Нацртајте зависност неуравнотежености $\left| \frac{N_1 - N_2}{N_1 + N_2} \right|$ од $|A_{\text{crit}}^2 - A^2|$, на папиру са обе логаритамске скале (двоструко логаритамском) у пољу **график С. 2**. Можете да користите **табелу С. 1**. за рачун. Уцртане тачке могу да одступају од линерне зависности, али да бисте добили израз за критични експонент ипак узмите линерно опадање. 1pt

C.3 Одредите експонент b и процените грешку. 1.4pt