

## Šokinėjantys rutuliukai - fazinių virsmų ir nestabilumų modelis (10 taškų)

Prieš pradėdami atlikti šią užduotį, perskaitykite bendras instrukcijas iš atskiro voko.

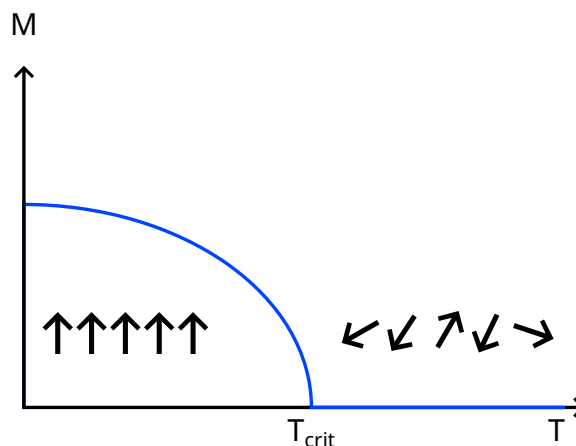
### Įvadas

Fazinius virsmus gerai pažįstame iš kasdieninio gyvenimo: pvz., vanduo gali būti skirtingų būsenų (kietas kūnas, skystis, dujos). Šias skirtingas būsenas skiria faziniai virsmai, kurių metu pasikeičia medžiagos molekulių kolektyvinis elgesys. Toks fazinis virsmas visada atitinka tam tikrą virsmo temperatūrą, kuriai esant pasikeičia būsena, pvz., vandens užšalimo bei virimo temperatūros ankstesniame pavyzdyje.

Faziniai virsmai yra labai paplitę bei gali vykti ir kitose sistemose, tokiose kaip magnetai ar superlaidininkai: žemiau virsmo temperatūros paramagnetikai tampa feromagnetikais, o įprasti laidininkai tampa superlaidininkais.

Visus šiuos virsmus galima aprašyti vieninga teorija įvedant vainamąjį tvarkos parametą. Pavyzdžiui, magnetizmo reiškiniuose tvarkos parametras nusako atomų magnetinių momentų pasisukimą viena kryptimi esant medžiagos makroskopiniam įmagnetėjimui.

Vykstantvadinamajam tolydžiajam faziniam virsmui, tvarkos parametras visada lygus nuliui, kai temperatūra yra aukštesnė už kritinę (tolydžiojo fazinio virsmo temperatūra vadinama kritine temperatūra) ir tolygiai didėja esant žemesnei temperatūrai, kaip schematiškai pavaizduota 1 pav. Ši iliustracija taip pat schematiškai parodo medžiagos feromagnetinę (vienodai orientuoti mikroskopiniai individualūs magnetiniai momentai nulemia makroskopinį medžiagos įmagnetėjimą) ir paramagnetinę (individualūs magnetiniai momentai orientuoti atsitiktinai, todėl makroskopinis medžiagos įmagnetėjimas lygus nuliui) būsenas.



1 pav.: Schematiškai pavaizduota tvarkos parametro  $M$  priklausomybė nuo temperatūros esant faziniam virsmui. Žemiau kritinės temperatūros  $T_{crit}$  tvarkos parametras niekada nelygus nuliui ir tolygiai didėja toliau mažinant temperatūrą, tuo tarpu  $M = 0$  esant bet kokiai aukštesnei už  $T_{crit}$  temperatūrą.

Vykstant tolydžiajam faziniam virsmui, netoli kritinės temperatūros tvarkos parametro priklausomybė nuo temperatūros paprastai aprašoma laipsnine funkcija. Pavyzdžiui, medžiagos įmagnetėjimo  $M$  tem-

peratūrinė priklausomybė aplink  $T_{\text{crit}}$  aprašoma tokia formule:

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

čia  $T$  yra temperatūra. Ši priklausomybė yra labai universali, o joje esantis laipsnio rodiklis yra toks pat daugeliui skirtingų fazinių virsmų.

## Užduotis

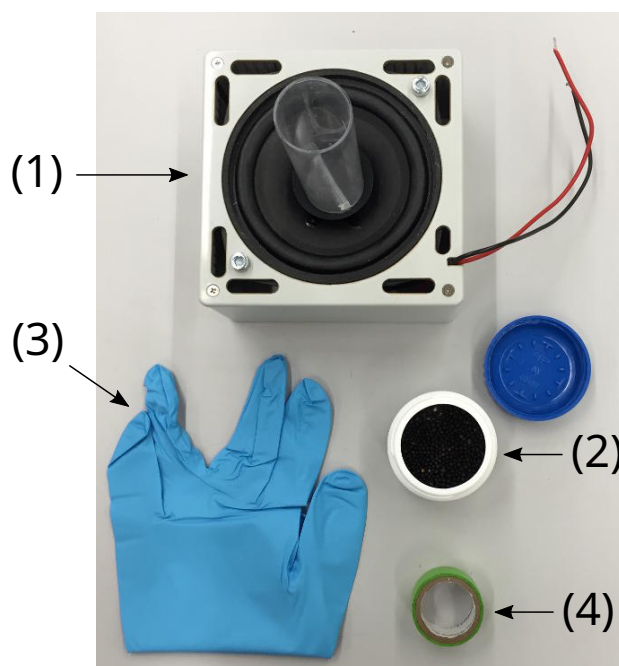
Mes panagrinėsime paprastą pavyzdį, kuriame ištirsime kelis tolydžiojo fazinio virsmo bruožus: kaip nestabilumas nulemia dalelių kolektyvinį elgesį ir dėl to veda prie fazinių virsmų. Taip pat panagrinėsime, kaip makroskopiniai pokyčiai priklauso nuo dalelėms suteiktos energijos.

Įprastuose faziniuose virsmuose šią sužadavimo energiją nusako temperatūra. Mūsų atveju, sužadimą sudaro garsiakalbiu pagreintų dalelių kinetinė energija. Makroskopinis pokytis, kurį mes stebėsime nagrinėdami fazinį virsmą, bus mažų rutuliukų susirinkimas vienoje iš cilindro, perskirta maža sienele į dvi dalis, pusėje.

Didindami svyravimų amplitudę nuo reikšmės, kai dalelės susirinko vienoje cilindro pusėje, jūs galiausiai pastebėsite, jog dalelės tolygiai pasiskirsto abiejose pusėse. Tai atitiktų "temperatūros padidinimą" virš kritinės temperatūros.

Jūsų tikslas yra nustatyti mūsų modelinio fazinio virsmo laipsninės priklausomybės rodiklį.

## Priemonių sąrašas



2 pav.: Papildomos priemonės šiam eksperimentui.

1. Garsiakalbis su pritvirtintu plastikiniu cilindru
2. Apie 100 aguonų sėklų (plastikiniame konteineryje)
3. Pirštinė
4. Lipni juosta

### Atsargumo priemonės

- Elkitės su garsiakalbiu labai atsargiai, netraukite plastikinio cilindro jokia pertekline skersai nukreipta jėga. Jeigu dėl neatsargumo garsiakalbio membrana bus pažeista ar cilindras bus nutrauktas nuo jos, jūs negausite naujų priemonių.
- Išjunkite garsiakalbį, kai jis nenaudojamas, kad nebūtų be reikalo eikvojama baterija.
- Šiame eksperimente į garsiakalbį paduodamas 4 Hz pjūklo formos signalas, gaunamas iš generatoriaus.
- Pjūklo formos signalo amplitudę galima reguliuoti naudojant dešinėje esantį potenciometrą, pažymėtą "*speaker amplitude*" (4). Nuolatinė įtampa (DC), proporcinga signalo amplitudei (įžeminimo gnybto GND (7) atžvilgiu), yra išvedama į generatoriaus jungtį (6), skirtą į garsiakalbį paduodamos įtampos amplitudei stebėti. Čia skaičiai atitinka bendroje instrukcijoje 2 pav. pateiktą nuotrauką.
- Garsiakalbio membrana yra labai jautri. Neveikite jos jokia nereikalinga jėga tiek vertikaliai, tiek skersai nukreipta jėga.

## A dalis. Kritinė sužadavimo amplitudė (3.3 taškai)

Prieš atlikdami konkrečias užduotis, prijunkite garsiakalbį prie generatoriaus šone esančių gnybtų (atkreipkite dėmesį, ar naudojate teisingą poliškumą). Įdėkite kažkiek (pvz., 50) aguonų sėklų į cilindą, pritvirtintą prie garsiakalbio, ir uždenkite cilindą iš viršaus pirštines gabaliuku, kad sėklos neišbyrėtų iš cilindro. Įjunkite jungiklį ir reguliuokite žadinimo amplitudę atsuktuvu sukdami dešinėje esantį potenciometrą, pažymėtą "speaker amplitude" (4). Pasirinkdami skirtingas amplitudes, stebėkite, kaip susirikiuoja sėklos.

Pirma užduotis yra nustatyti jūsų stebimo fazinio virsmo kritinę amplitudę. Tam tikslui jūs turite nustatyti, kaip sėklų skaičiai skirtingose cilindro pusėse (atitinkamai  $N_1$  ir  $N_2$ ; cilindro dalių numeraciją pasirinkite taip, kad būtų  $N_1 \leq N_2$ ) priklauso nuo rodomos "speaker amplitude" gnybtų (6) įtampos amplitudės  $A_D$ . Ši įtampa yra proporcinga garsiakalbį maitinančios pjūklo formos signalo amplitudei. Atlikite bent 5 matavimus kiekvienai įtampos vertei.

Nurodymas:

- Kad visais atvejais būtų stebimas dalelių judėjimas, nagrinėkite tik tokias amplitudes, kurios atitinka "speaker amplitude" gnybtų įtampą, didesnę už 0.7 V. Pradėkite stebėti sistemos elgseną tiesiog lėtai keisdami įtampą ir neskaičiuodami sėklų. Gali būti, jog dėl elektrostatinų priešasčių kelios sėklos prilips prie dugno - tokių sėklų neskaičiuokite.

<b>A.1</b>	Skirtingoms amplitudės $A_D$ vertėms išmatuokite dalelių skaičius kiekvienoje cilindro pusėje, $N_1$ ir $N_2$ . Rezultatus užfiksuokite <b>A.1 lentelėje</b> .	1.2pt
<b>A.2</b>	Apskaičiuokite savo išmatuotų verčių $N_1$ ir $N_2$ standartinius nuokrypius ir įrašykite juos <b>A.1 lentelėje</b> . <b>A.2 brėžinyje</b> nubraižykite (kartu su jų paklaidomis) $N_1$ ir $N_2$ priklausomybę nuo rodomos amplitudės $A_D$ .	1.1pt
<b>A.3</b>	Remdamiesi savo grafiku, nustatykite kritinę rodomą amplitudę $A_{D,crit}$ , kuriai esant $N_1 = N_2$ (kai laukiama, kol būtų pasiekta stacionari būseną).	1pt

## B dalis. Kalibravimas (2.5 taškai)

Rodoma amplitudė  $A_D$  atitinka prie garsiakalbio prijungtą įtampą. Tačiau mus dominantis fizikinis dydis yra didžiausias svyruojančios membranos nuokrypis  $A$ , kuris nulemia, kiek stipriai dalelės yra sužadamos. Dėl to jūs turite sukalibruoti rodomą amplitudę. Šiam tikslui galite naudoti bet kokias jums duotas medžiagas bei priemones.

<b>B.1</b>	Schematiškai nubraižykite bandymo schemą, kurią naudojate sužadavimo amplitudei, t. y. didžiausiam garsiakalbio poslinkiui $A$ (mm vienetais) per vieną svyravimą nustatyti.	0.5pt
<b>B.2</b>	Tinkamam taškų skaičiui nustatykite amplitudę $A$ (mm vienetais), t. y. <b>B.2 lentelėje</b> užfiksuokite amplitudę $A$ kaip funkciją nuo rodomos amplitudės $A_D$ bei nurodykite savo matavimų paklaidas.	0.8pt
<b>B.3</b>	<b>B.3 grafike</b> nubraižykite savo duomenis kartu su paklaidomis.	1.0pt

**B.4** Naudodami tinkamą tapatinimą ("fit"), nustatykite gautos kreivės parametrus, taip gaudami kalibravimo funkciją  $A(A_D)$ . 0.8pt

**B.5** Nustatykite aguonų sėklų kritinę sužadavimo amplitudę  $A_{\text{crit}}$ . 0.1pt

### C dalis. Kritinis laipsnio rodiklis (3.5 taškai)

Mūsų sistemoje temperatūrą atitinka sužadinamų dalelių kinetinė energija. Ši energija yra proporcinga garsiakalbio greičio kvadratui, t. y. dydžiui  $v^2 = A^2 f^2$ , čia  $f$  yra svyravimų dažnis. Dabar panagrinėsime šią priklausomybę ir nustatysime (1) lygties laipsnio rodiklį  $b$ , nusakantį tvarkos parametro elgesį.

**C.1** Disbalansas  $\left| \frac{N_1 - N_2}{N_1 + N_2} \right|$  gerai tinka naudoti kaip mūsų sistemos tvarkos parametras: jis yra lygus nuliui virš kritinės amplitudės ir yra lygus 1 esant silpnam žadinimui. Nustatykite šio tvarkos parametro priklausomybę nuo amplitudės  $A$ . Užfiksuokite savo rezultatus **C.1 lentelėje**. 1.1pt

**C.2** **C.2 grafike**, kuriame abi ašys turi logaritmą (dvigubo logaritmo grafikas), nubraižykite disbalansą  $\left| \frac{N_1 - N_2}{N_1 + N_2} \right|$  kaip funkciją nuo  $|A_{\text{crit}}^2 - A^2|$ . Galite naudoti **C.1 lentelę** savo skaičiavimams. Taškai gautame grafike gali ne pilnutinai atspindėti tiesinį sąryšį, bet vis dėlto būtina taikyti tiesinę regresiją, kad rezultatas atitiktų kritinio laipsnio rodiklio formulę. 1pt

**C.3** Nustatykite laipsnio rodiklį  $b$  ir įvertinkite paklaidą. 1.4pt