

## Hüppavad terakesed - faasiülemineku ja ebastabiilsuste mudel (10 punkti)

Palun lugege enne selle ülesande kallale asumist eraldi ümbrikus asuvat üldjuhendit (*general instructions*).

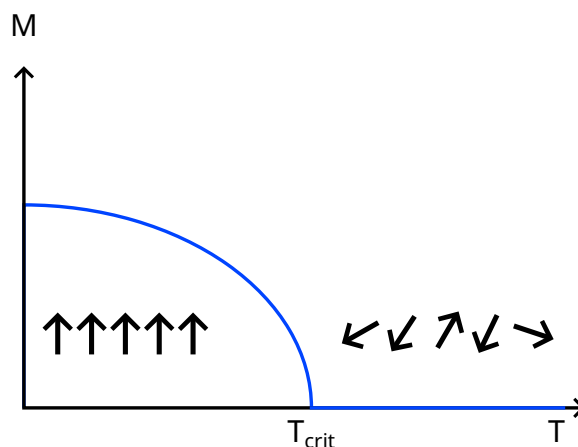
### Sissejuhatus

Faasiüleminekuks on igapäevaelus hästi tuntud, näiteks saab vesi olla erinevates olekutes nagu tahke, vedel ja gaasiline. Neid erinevaid olekuid eraldavad faasiüleminekuks, kus molekulide kollektiivne käitumine materjalis muutub. Selline faasiüleminekuks on alati seotud üleminekutemperatuuriga, kus olek muutub, näiteks külmumis- ja keemistemperatuur eelnevas näites.

Faasiüleminekuks on laiemaltki levinud ning toimuvad sellistes süsteemides nagu näiteks magnetid ja ülijuhikud, kus üleminekutemperatuurist madalamal muutub makroskoopiline olek vastavalt paramagnetist ferromagnetiks ja tavalisest juhikst ülijuhiks.

Kõiki neid üleminekuid saab kirjeldada ühtses raamistikus, kui võtta kasutusele nõ korrastatuse parameeter. Näiteks magnetismi puhul peegeldab korrastatuse parameeter aatomaarsete magnetmomentide joonduvust makroskoopilise magneetuvuse suunas.

Nõ pideva faasiülemineku korral on teatud kriitilisest temperatuurist kõrgemal korrastatuse parameeter alati võrdne nulliga ning kasvab pidevalt, kui minna madalamatele temperatuuridele nagu näidatud magneti kujutaval skeemil joonisel 1. Pideva faasiülemineku üleminekutemperatuuri kutsutakse kriitiliseks temperatuuriks. Joonisel on skemaatiliselt kujutatud ka mikroskoopiline korrastatus või mittekorrasatus magneti puhul, kus ferromagneetilises olekus üksikud magnetmomendid joonduvad ning nii tekib makroskoopiline magneetumus; teisalt aga on paramagneetiku korral üksikud magnetmomendid juhuslikult joondunud ning tekkiv makroskoopiline magneetumus on null.



Joonis 1: Korrastatuse parameetri  $M$  skemaatiline sõltuvus temperatuurist faasiüleminekul. Allpool kriitilist temperatuuri  $T_{\text{crit}}$  korrastatuse parameeter kasvab ning on nullist erinev, samas kui temperatuurist  $T_{\text{crit}}$  kõrgematel temperatuuridel on korrastatuse parameeter null.

Selgub, et pidevate faasiüleminekuks puhul käitub korrastatuse parameeter ülemineku läheduses vastavalt astmeseadusele. Näiteks magnetismi korral kriitilisest temperatuurist  $T_{\text{crit}}$  madalamal käitub aine

magneetumus  $M$  vastavalt seosele:

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

kus  $T$  on temperatuur. Veelgi hämmastavam on siinjuures asjaolu, et selline käitumine on universaalne: selle astmeseaduse astmenäitaja on sama ka paljude teiste faasiüleminekute jaoks.

## Ülesanne

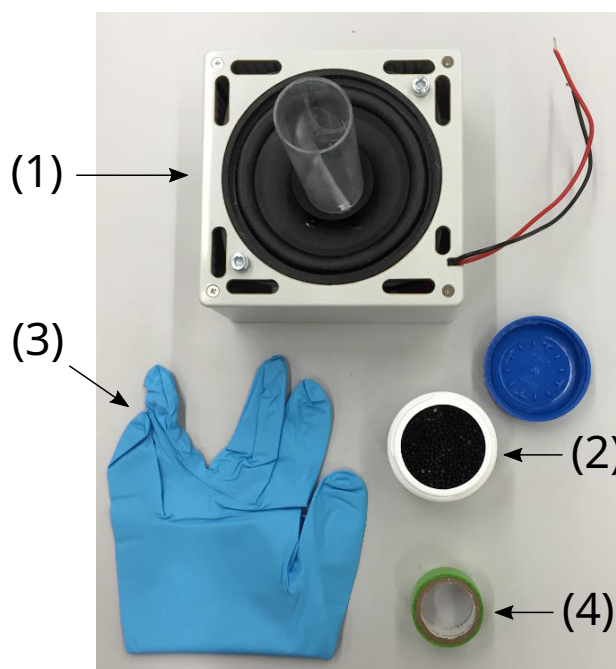
Siin ülesandes uurime üht lihtsat süsteemi, mille abil uurida pidevate faasiüleminekute mõningaid omadusi. Näiteks, kuidas ebastabiilsus viib osakeste kollektiivse käitumiseni ja seeläbi faasiüleminekuni või kuidas makroskoopilised muutused sõltuvad osakeste ergastusest.

Tavalistes faasiüleminekutes saab seda ergastust muuta temperatuuriga. Meie eksperimendis seisneb ergastus osakeste kineetilises energias; osakesi kiirendab kokkupuude kõlariga. Faasiüleminekule vastav makroskoopiline muutus siin eksperimendis seisneb terakeste kogunemises ühte silindri poolde, mis on teisest poolest väikse seinaga eraldatud.

Suurendades amplituudi alates hetkest, mil osakesed on koondunud ühele silindri poolele, märkate, et lõpuks jaotuvad osakesed ühtlaselt kahe poole vahel. See vastab kuumutamisele üle kriitilise temperatuuri.

Teie eesmärgiks on määrata siin uuritava faasiülemineku mudeli kriitiline astmenäitaja.

## Katsevahendid



Joonis 2: täiendavad katsevahendid selle eksperimendi jaoks.

1. Kõlar koos sellele kinnitatud plastiksilindriga
2. Umbes 100 terakest (plastiktopsis)
3. Kinnas
4. Kleeplint

## Ettevaatust

- Ärge rakendage kõlarile kinnitatud plastiksilindrile ülearust külgsuunalist jõudu. Pange tähele, kui olete kõlari membraani või plastiksilindri küljest tirinud, siis asendusseadet teile ei anta.
- Kui te kõlarit parasjagu ei kasuta, siis lülitage see välja, muidu kulutate asjatult akut.
- Selles eksperimendis on signaaligeneraatori väljundiks (generaatori küljel paiknevate kõlari klemmidel) saehammas-signaal sagedusega 4 Hz.
- Saehammas-signaali amplituudi saab seadistada parempoolse potentsiomeetriga *speaker amplitude* (4). Signaali amplituudiga võrdeline alalispinge antakse mõõtepesale *speaker amplitude* (6) (võrrelduna maanduspesaga *GND* (7)). Sulgudes olevad numbrid vastavad üldjuhiste lehe foto (joonis 2) numbritele.
- Kõlari membraan on õrn. Ärge avaldage sellele ülearust survet ei vertikaal- ega ristsihis.

## Osa A. Kriitiline ergastusamplituud (3.3 punkti)

Enne üleande kallale asumist ühendage kõlar signaaligeneraatori küljel asuvate klemmidega (veenduga, et polaarsus oleks õige). Pange teatud kogus (näiteks umbes 50) terakesi kõlari peale paigaldatud silindrisse. Sulgege silinder pealtpoolt, kasutades selleks teile antud kindast välja lõigatud tükki, et vältida terakeste väljalendmist silindrist. Lülitage ergastus lülitist sisse ning muutke amplituudi, keerates teile antud kruvikeerajaga parempoolset potentsiomeetrit sildiga *speaker amplitude* (4). Erinevate amplituudidega katsetades jälgige, kuidas terakesed kogunevad ühele silindri poolele.

Esimeseks ülesandeks on määrata selle ülemineku kriitiline ergastuse amplituud. Selleks peate kindlaks tegema kummaski silindri pooles olevate terakeste arvu  $N_1$  ja  $N_2$  (defineerigem poolte tähistus nii, et  $N_1 \leq N_2$ ) funktsioonina *kuvatud amplituudist*  $A_D$ , milleks nimetame mõõtepesalt *speaker amplitude* (6) mõõdetud pinget. See pinge on võrdeline kõlarit toitva saehammas-signaali amplituudiga. Tehke igal pingel vähemalt 5 mõõtmist.

Vihje:

- Selleks, et uuritavad osakesed oleksid alati liikumises, kasutage amplituude, mis vastavad mõõtepesa *speaker amplitude* pingetele, mis on suuremad kui 0.7 V. Alustage süsteemi käitumise vaatlemist lihtsalt pinget aeglaselt muutes ilma esialgu terakesi loendamata. Võib juhtuda, et mõned terakesed jäävad elektrostaatika tõttu põhja külge kinni. Neid terakesi ärge loendage.

**A.1** Kirjutage **tabelisse A.1** üles oma mõõtmistulemused osakeste arvu  $N_1$  ja  $N_2$  jaoks kummaski silindri pooles erinevate *kuvatud amplituudide*  $A_D$  korral. 1.2pt

**A.2** Arvutage oma mõõtmistulemuste  $N_1$  ja  $N_2$  standardhälbed ja kandke need **tabelisse A.1**. Joonistage  $N_1$  ja  $N_2$  sõltuvus *kuvatud amplituudist*  $A_D$  **graafikule A.2** koos vastavate määramatustega. 1.1pt

**A.3** Leidke oma graafiku põhjal kriitiline *kuvatud amplituud*  $A_{D,crit}$ , mille korral pärast statsionaarse režiimi saabumist  $N_1 = N_2$ . 1pt

## Osa B. Kalibreerimine (3.2 punkti)

*Kuvatud amplituud*  $A_D$  vastab kõlarile rakendatud pingele. Samas, füüsikaliselt on huvipakkuv suurus kõlari võnkumise maksimaalne hälve  $A$ , sest see näitab, kui tugevasti terakesi ergastatakse. Seepärast on teil tarvis kalibreerida *kuvatud amplituudi* lugem. Kalibreerimise teostamiseks võite kasutada kõiki teile antud materjale ja vahendeid (ka läbipaistvast suletavast kotist).

**B.1** Skitseerige katse skeem, mille abil mõõdate ergastuse amplituudi, so maksimaalse vahemaa  $A$  (millimeetrites), mille piires liigub kõlari membraan ühe võnkeperioodi jooksul. 0.5pt

**B.2** Määrake amplituud  $A$  (millimeetrites) sobiva arvu mõõtepunktide jaoks: kandke **tabelisse B.2** amplituudi  $A$  väärtused funktsioonina *kuvatud amplituudist*  $A_D$  ning märkige ära ka oma mõõtmistulemuste määramatus. 0.8pt

**B.3** Kandke oma andmed koos määramatustega **graafikule B.3**. 1.0pt

**B.4** Kasutades sobitamist (fittimist), määrake tekkinud kõvera parameetrid, et teha kindlaks kalibratsioonifunktsioon  $A(A_D)$ . 0.8pt

**B.5** Määrake kriitiline ergastamise amplituud  $A_{\text{crit}}$  siin katses kasutatud terakeste jaoks. 0.1pt

### Osa C. Kriitiline astmenäitaja (3.5 punkti)

Meie süsteemis on temperatuuri rollis ergastuste kineetiline energia. See energia on võrdeline kõlari kiiruse ruuduga, st  $v^2 = A^2 f^2$ , kus  $f$  on võnkumise sagedus. Järgnevalt me kontrollime selle sõltuvuse kehtivust ning määrame astmenäitaja  $b$  väärtuse astmeseaduses, mis kirjeldab korrastatuse parameetri käitumist (vt võrrand 1).

**C.1** Suhteline erinevus  $\left| \frac{N_1 - N_2}{N_1 + N_2} \right|$  on hea kandidaat meie süsteemi korrastatuse parameetriks, sest see on null kriitilisest amplituudist kõrgemal ning võrdne 1-ga madalatel ergastustel. Arvutage sellise korrastatuse parameetri väärtus funktsioonina amplituudist  $A$ . Kandke oma tulemused **tabelisse C.1**. 1.1pt

**C.2** Joonistage suhteline erinevus  $\left| \frac{N_1 - N_2}{N_1 + N_2} \right|$  funktsioonina  $|A_{\text{crit}}^2 - A^2|$ -st **graafikule C.2**, kus mõlemal teljel on logaritmilised jaotised (topeltlogaritmiline graafik). Võite kasutada **tabelit C.1** arvutuste tegemiseks. Kuigi graafikule kantud punktid ei pruugi jälgida lineaarset seost, peaksite siiski tegema lineaarse regressiooni, mis vastaks kriitilise astmenäitaja valemile. 1pt

**C.3** Määrake astmenäitaja  $b$  ja hinnake selle määramatust. 1.4pt