

Hoppende frø - En modell for faseoverganger og ustabilitet (10 poeng)

Vennligst les de generelle instruksjonene som ligger i egen konvolutt, før du begynner på denne oppgaven.

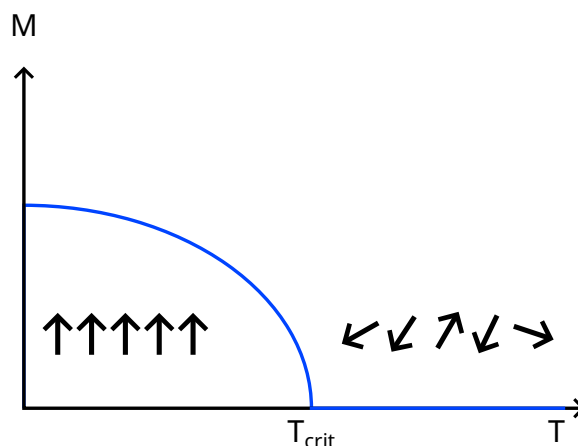
Introduksjon

Faseoverganger er godt kjent i hverdagen, f.eks fins vann i de forskjellige tilstandene; fast, flytende og gass. Disse forskjellige tilstander er adskilt av faseoverganger, hvor den kollektive oppførsel til molekylene i materialet forandres. En slik faseovergang er alltid forbundet med en overgangstemperatur, når fasen endres, jf. fryse- / koketemperaturer på vann.

Faseoverganger er imidlertid enda mer utbredt og forekommer også i andre systemer, for eksempel for magneter eller superledere. Under en overgangstemperatur vil de makroskopiske tilstand endres, henholdsvis fra en paramagnet til en ferromagnet og en normal leder til en superleder.

Alle disse overgangene kan beskrives i et felles rammeverk ved innføring av en såkalt ordens-parameter. For eksempel, for magnetisme er ordens-parameteren knyttet til retningene til atomenes magnetiske momenter med en makroskopisk magnetisering.

I de såkalte kontinuerlige faseoverganger, vil ordens-parameteren alltid være null ved temperaturer høyere enn den kritiske temperaturen og øker kontinuerlig ved synkende temperaturer under den kritiske temperaturen, som vist skjematisk for en magnet i figur 1 under. Overgangstemperaturen som en kontinuerlig faseovergang skjer ved, kalles den kritiske temperaturen. Figuren viser også den mikroskopiske orden og uorden i en magnet, hvor de individuelle magnetiske momentenes retning i ferromagnetisk tilstand gir opphav til en makroskopisk magnetisering, mens de er tilfeldig orientert i paramagnetisk fase som gir en makroskopisk magnetisering lik null.



Figur 1: Skjematisk fremstilling av temperaturavhengigheten av en ordens-parameter M ved en faseovergang. Ved temperaturer lavere enn den kritiske temperaturen T_{crit} , øker ordens-parameteren og er forskjellig fra null, mens den er lik null for alle temperaturer over T_{crit} .

For kontinuerlige faseoverganger, finner man vanligvis at ordens-parameteren nær en overgang følger en potenssammenheng, f.eks. for magnetisme er ordens-parameteren M for temperaturer lavere enn

den kritiske temperaturen, T_{crit} , gitt ved:

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

hvor T er temperaturen. Hva er enda mer imponerende er at denne egenskapen er universell: eksponenten b til potenssammenhengen er den samme for mange ulike typer faseoverganger.

Formål

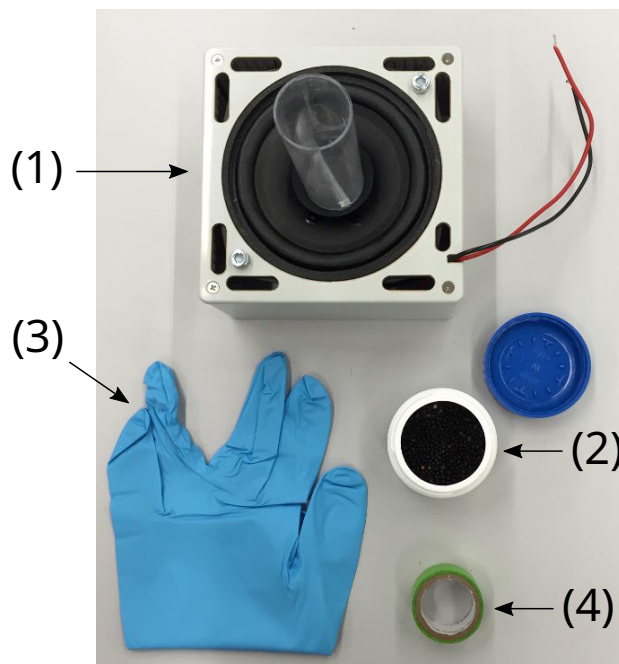
Du skal studere et enkelt eksempel der noen av funksjonene i kontinuerlige faseoverganger kan bli undersøkt, for eksempel hvordan en ustabilitet fører til en kollektiv oppførsel til partiklene, og dermed en faseovergang, samt hvordan den makroskopiske endringen avhenger av påvirkningen på partiklene.

Vanligvis blir faseoverganger drevet av temperaturen. I vårt eksempel består påvirkningen av den kinetiske energien til partiklene, akselerert ved hjelp av en høyttalermembran. Makroskopisk endring svarer her til at frøene samles i den ene halvdel av en sylinder, som er atskilt med en liten vegg.

Ved først å ha samlet alle frøene i den ene halvdel av sylindere og deretter øke amplituden på svingningene vil man se at frøene fordeles likt mellom de to halvdelene. Dette tilsvarer at temperaturen øker fra under til over den kritiske temperatur for faseovergang.

Din oppgave er å bestemme den kritiske eksponenten for faseovergangen til forsøket.

Utstysliste



Figur 2: Ekstra utstyr for dette eksperimentet

1. Høytaler med plastsylinder montert på membranen
2. Ca 100 valuefrø (i en plasteske)
3. En hanske
4. Tape

Viktige forholdsregler

- Ikke dytt for hardt på plastsylinderen som er monter på høytalermembranen, membranen tåler ikke så veldig mye. Hvis noe går i stykker, vil det ikke bli erstattet.
- Slå av høytaleren når den ikke er i bruk, for å unngå unødvendig tapping av batteriet.
- I dette forsøket er det et 4 Hz sagtann-signal fra høytalerutgangene som befinner seg på siden av signalgeneratoren
- Amplituden til sagtann signalet kan justeres ved hjelp av dreiemotstanden *speaker amplitude* (4). En DC likestrøm proporsjonal med signal amplituden er utsignal fra *speaker amplitude* (6) (i forhold til jord GND (7). Tallene refererer til fotografiet (figur 2) vist i de generelle instruksjonene.
- Høytalermembran er skjør. Pass på at du ikke bruker unødig press på den på noen måte enten vertikalt eller sidelengs.

Del A. Kritisk eksitasjonsamplitude (3,3 poeng)

Før du starter denne delen av oppgaven, skal du koble høyttaleren til kontaktene på siden av signalgeneratoren (pass på riktig polaritet). Legg et passende antall frø (f.eks. 50 stk.) i sylindere monterte på høyttaleren. Klipp en bit av hansken og bruk biten til å lukke sylindere slik at ikke frøene hopper ut. Slå på svingningene ved hjelp av vippebryteren og still inn amplituden ved å justere dreiemotstanden merket *speaker amplitude* (4) ved hjelp av skrutrekkeren. Observer hvordan frøene fordeler seg ved å prøve forskjellige amplituder.

Den første oppgave er å bestemme den kritiske amplituden for denne faseovergangen. For å gjøre dette skal du bestemme antall korn N_1 og N_2 i de to halvdelene (velg navn på halvdelene slik at $N_1 \leq N_2$) som funksjon av den avleste amplituden (displayamplitude) A_D , som er spenningen målt ved *speaker amplitude* socket (6). Denne spenningen er proporsjonal med amplituden til sagtann-bølge-signalet til høyttaleren. Gjør minst 5 målinger per valgte spenning.

Hint:

- For å alltid hold frøene i bevegelse, skal du kun undersøke amplituder hvor *speaker amplitude* spenningen, displayamplituden, er større enn 0.7 V. Begynn med å se på virkemåten til systemet bare ved å variere spenningen langsomt uten telling av frø. Det kan være at noen av frøene sitter fast i bunnen på grunn av statisk elektrisitet. Ikke tell med disse frøene.

A.1	Gjør målinger og skriv inn antall frø N_1 og N_2 for hver sylinderhalvdel for en rekke forskjellige displayamplituder A_D i Tabell A.1 .	1.2pt
------------	---	-------

A.2	Regn ut standardavviket til målingene dine av henholdsvis N_1 og N_2 og før resultatene i Tabell A.1 . Plott N_1 og N_2 som funksjon av avlest displayamplitude A_D i Graf A.2 , inkluder usikkerhet.	1.1pt
------------	---	-------

A.3	Basert på grafen din, bestem den kritiske displayamplituden $A_{D,crit}$ hvor $N_1 = N_2$, etter å ha ventet til en stasjonær tilstand er nådd.	1pt
------------	--	-----

Del B. Kalibrering (3.2 poeng)

Displayamplituden A_D , svarer til spenningen over høyttaleren. Imidlertid, den interessante fysiske størrelsen er den maksimale forskyvningen A av svingningen til høyttaleren, siden dette er relatert til hvor sterkt frøene er eksitert. Derfor må du kalibrere displayamplituden. Til dette formålet, kan du velge blant alt av utdelt utstyr og hjelpemidler.

B.1	Skisser oppsettet du bruker til å måle eksiteringsamplituden, dvs. den maksimale avstanden A (in mm) til høyttaleren for en periode av oscillasjonen.	0.5pt
------------	---	-------

B.2	Bestem amplituden A i mm for et passende antall punkter, dvs. noter amplituden A som funksjon av displayamplitude A_D i Tabell B.2 og indiker usikkerheten i målingene.	0.8pt
------------	--	-------

B.3	Plott dataen dine i Graf B.3 , inkluder usikkerhet.	1.0pt
------------	--	-------

B.4 Bestem konstantene til kurven og gjør en passende tilnærming for å bestemme funksjonen $A(A_D)$. 0.8pt

B.5 Bestem frøenes kritiske eksitasjonsamplitude A_{crit} . 0.1pt

Del C. Kritisk eksponent (3.5 poeng)

I vår modell, svarer temperaturen til den kinetiske energien til eksitasjon. Denne energien er proporsjonal med hastigheten i kvadrat av høyttaleren, dvs $v^2 = A^2 f^2$, hvor f er frekvensen til oscillasjonen. Vi vil nå teste denne sammenhengen og bestemme eksponent b otil potenssammenhengen for ordensparameteren (se Eq. 1).

C.1 Forholdet $\left| \frac{N_1 - N_2}{N_1 + N_2} \right|$ er en god kandidat for en ordensparameter for vår modell siden den er null over den kritiske amplituden og lik 1 ved små eksitasjoner. Bestem ordensparameter som en funksjon av amplituden A . Skriv resultatene dine i **Tabell C.1**. 1.1pt

C.2 Plott $\left| \frac{N_1 - N_2}{N_1 + N_2} \right|$ som funksjon av $|A_{\text{crit}}^2 - A^2|$, i log-log-diagrammet i **Graf C.2**. Bruk **Table C.1** for dine beregninger. Selv om punktene på plottet ikke ser ut til å ha en lineær sammenheng, skal du allikevel gjøre en lineær regresjon, for å bestemme den kritiske eksponenten. 1pt

C.3 Bestem eksponenten b og estimer feilen. 1.4pt