

Hoppandi fræ - Líkan fyrir fasabreytingar og óstöðugleika (10 stig)

Lestu almennu leiðbeiningarnar sem eru í sérstöku umslagi áður en þú byrjar á þessu verkefni.

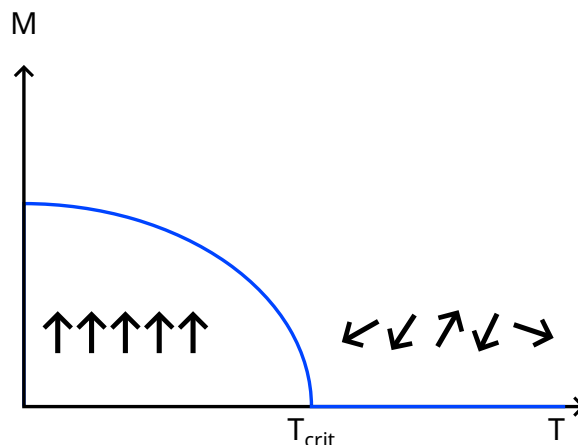
Inngangur

Fasabreytingar þekkjum við vel úr daglegu lífi. Sem dæmi, þá getur vatn verið í mismunandi fasa: fast efni, vökvi eða gas. Við fasabreytingu (*phase transition*) breytist heildarhegðun sameindanna í efninu og efnið skiptir um fasa. Fasabreytingar tengjast ákveðnu markhitastigi (*critical temperature*) þar sem efnið skiptir um fasa. Dæmi eru frostmark og suðumark vatns.

Fasaskipti verða einnig í öðruvísi kerfum, þar sem stórsæja ástand kerfisins breytist við ákveðið markhitastig. Til dæmis breytist segull úr meðseglandi fasa (*paramagnetic phase*) í járnseglandi fasa (*ferromagnetic phase*), og vissir leiðarar geta orðið ofurleiðandi þegar hitastigið fer undir ákveðið markhitastig.

Hægt er að fá sameiginlega lýsingu á öllum þessum fasaskiptum með því að innleiða svokallaðan röðunarstuðul (*order parameter*). Þegar segulmögnun er lýst, svo dæmi sé tekið, þá tengist röðunarstuðullinn afstöðu segulvægja atómanna með tilliti hinnar stórsæju segulmögnunar efnisins.

Í svokölluðum samfelldum fasaskiptum er röðunarstuðullinn núll fyrir ofan markhitastigið og hækkar samfellt undir því, eins og sýnt er á skýringarmyndinni fyrir segul á mynd 1. Á myndinni sést einnig einföld framsetning á smásærri reglu eða óreglu atóma segulsins. Í járnseglandi fasa snúa segulvægi atómanna eins, og valda stórsærri segulmögnun; í meðseglandi fasa snúa segulvægin handahófskennt og valda engri segulmögnun.



Mynd 1: Einfölduð framsetning á því hvernig röðunarstuðullinn M er háður hitastigi við fasaskipti. Undir markhitastiginu T_{crit} er röðunarstuðullinn jákvæður og vex með lækkandi hitastigi. Þegar hitastigið er hærra en markhitastigið T_{crit} er röðunarstuðullinn núll.

Fyrir samfelldar fasabreytingar gildir almennt að þegar kerfið er nálægt fasaskiptum er röðunarstuðullinn gefinn með veldislögmáli. Í dæminu um segulmögnun M , gildir fyrir hitastig undir markhitastiginu T_{crit} að segulmögnunin er gefin með

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

þar sem T er hitastigið. Merkillegt er að veldisvísirinn, sem við köllum markvísinn (*critical exponent*) er sá sami fyrir margar mismunandi gerðir af fasabreytingum.

Verkefni

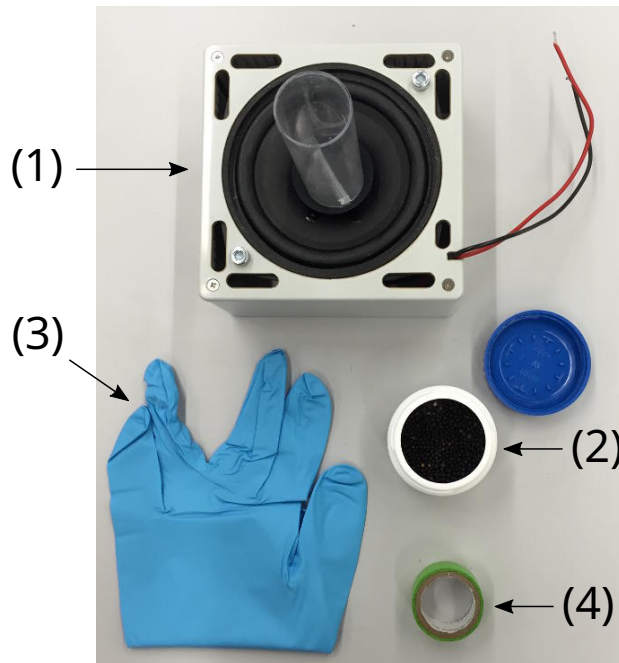
Við skoðum einfalt dæmi um fræ í sívalningi með tveimur hólfum, þar sem rannsaka má nokkra eiginleika samfelldra fasabreytinga: Hvernig óstöðugleiki leiðir til þess að heildarhegðun agnanna breytist, og þar með til fasabreytinga, og hvernig stórsæjar breytingar ráðast af örvun agnanna.

Í algengum fasabreytingum, er örvun agnanna drifin af hitastigi kerfisins. Í okkar dæmi felst örvunin í hreyfiorku sem fræin fá þegar þeim er hraðað af himnu hátalara. Stórsæja breytingin sem tengist fasabreytingunni felst í því að fræin færast öll yfir í annan helming sívalningsins, sem aðskilinn er með lágum vegg, ef útslag himnunnar er nógu lítið.

Ef útslag himnunnar er aukið nógu mikið, dreifast fræin jafnt í báða helminga sívalningsins. Þetta svarar til þess að hafa aukið hitastigið yfir markhitastigið.

Markmiðið þitt er að ákvarða markvísinn (*critical exponent*) fyrir fasabreytinguna sem hér er lýst.

Listi yfir búnað



Mynd 2: Viðbótarbúnaður fyrir þessa tilraun.

Hátalarasamsetning þar sem plasticsívalningur situr á himnu hátalarans.

Um það bil 100 lítil fræ (í plastíláti)

Hanski

Límband

Mikilvægar varúðarráðstafanir

- Ekki beita miklum krafti á hliðar sívalningsins sem fastur er á himnu hátalarans. Athugaðu að ekki er hægt að skipta um búnaðinn eða fá nýjan ef himnan skemmist eða ef sívalningurinn dettur af.
- Slökktu á hátalaranum þegar hann er ekki í notkun, til að forðast að tæma rafhlöðuna.
- Í þessari tilraun er 4 Hz sagtannar-merki (*saw-tooth signal*) notað sem inntak fyrir hátalarann með því að nota viðeigandi tengi á hlið merkjagjafans.
- Útslag sagtannar-merkisins má stilla með því að nota hægra breytiviðnámið sem merkt er *speaker amplitude* (4). Jafnstraums- (DC) spennu sem er í réttu hlutfalli við útslag merkisins má mæla á úttakinu (6) miðað við jörð GND (7). Tölurnar vísa í myndina í almennu leiðbeiningunum (G0).
- Hátalarahimnan er viðkvæm. Passaðu að þrýsta ekki á hana að óþörfu, hvorki lárétt né lóðrétt.

Hluti A. Marksveifluvídd örvunar (3,3 stig)

Áður en þú byrjar á þessu verkefni skaltu tengja hátalarann við tenglana á hlið merkjagjafans (passaðu að nota rétta skautstefnu, *polarity*). Láttu nokkurn fjölda (t.d. 50) fræja í sívalninginn sem er fastur á hátalaranum. Klipptu hluta af hanskanum og notaðu til að loka gatinu á sívalningnum svo fræin komist ekki út. Kveiktu á örvuninni með rofanum (*toggle switch*) og stilltu útslagið með því að snúa hægra breytiviðnáminu, merkt *speaker amplitude* (4), með sknúfjárninu. Taktu eftir hvernig fræin dreifast milli helminga sívalningsins með því að prófa mismunandi útslög.

Fyrsta verkefnið er að ákvarða markútslagið fyrir þessi fasaskipti. Þú þarft að ákvarða fjölda fræjanna N_1 og N_2 í hólfunum tveimur (skilgreint þannig að $N_1 \leq N_2$) sem fall af útslagsspennunni (*displayed amplitude*) A_D , það er spennan sem mæld er á úttakinu (6). Þessi spenna er í réttu hlutfalli við útslag sagtannar-merkisins sem drífur hátalarann. Framkvæmdu að minnsta kosti 5 mælingar fyrir hvert gildi á útslagsspennunni A_D .

Ábending:

- Til að fræin geti hreyfst milli hólfanna verður útslag hátalarans að vera nógu hátt; kannaðu því aðeins hegðun kerfisins fyrir útslagsspennu yfir 0.7 V. Byrjaðu á því að fylgjast með hegðun kerfisins með því að breyta spennunni hægt án þess að telja fræin. Það er möguleiki að nokkur fræ haldist föst við vegg sívalningsins vegna stöðurafmagns; ekki telja þessi fræ með.

A.1	Skráðu mælingar þínar á fjölda agna N_1 og N_2 í hvoru hólf sívalningsins fyrir mismunandi gildi útslagsspennunnar A_D í Töflu A.1 .	1.2pt
A.2	Reiknaðu út staðalfrávikið á mælingum þínum á N_1 of N_2 og skráðu niðurstöður þínar í Töflu A.1 . Teiknaðu N_1 og N_2 sem fall af útslagsspennunni A_D á Graf A.2 , ásamt óvissu.	1.1pt
A.3	Notaðu grafið þitt til að ákvarða markútslagsspennuna $A_{D,crit}$ sem uppfyllir að þegar kerfið nær stöðugu ástandi við þessa útslagsspennu þá er $N_1 = N_2$.	1pt

Hluti B. Kvörðun (3.2 stig)

Útslagsspennan A_D er útslag spennunnar yfir hátalarann. Hins vegar hefur meiri merkingu að skoða útslag sveifluhreyfingar hátalarans A , þar sem hún tengist beint hreyfiorku fræjanna. Þú þarft því að kvarða útslagsspennuna fyrir útslag sveifluhreyfingarinnar. Þú mátt nota öll gefin efni og áhöld til þess.

B.1	Skissaðu tilraunauppstillinguna sem þú notar til þess að mæla útslag sveifluhreyfingarinnar A (í mm) það er sveifluvíddina í hreyfingunni.	0.5pt
B.2	Ákvarðaðu útslagið A í mm fyrir hæfilegan fjölda punkta, það er, mældu útslagið A sem fall af útslagsspennunni A_D og skráðu í Töflu B.2 . Tilgreindu óvissuna í mælingum þínum.	0.8pt
B.3	Teiknaðu gögnin þín inn á Graf B.3 , ásamt óvissu.	1.0pt

B.4 Notaðu viðeigandi mátunarfali (*fit*) fyrir kvörðunarfallið $A(A_D)$. Ákvarðaðu stikana (*parameters*) í ferlinum sem þú færð. 0.8pt

B.5 Ákvarðaðu marksveifluviddina A_{crit} fyrir kerfið. 0.1pt

Hluti C. Markvísir (critical exponent) (3,5 stig)

Í kerfinu okkar er það hreyfiorkan sem fræin fá frá hátalaranum sem svarar til hitastigs. Þessi hreyfiorka er í réttu hlutfalli við hraða hátalarahimnunnar í öðru veldi, það er $v^2 = A^2 f^2$, þar sem f er tíðni sveifluhreyfingarinnar. Næst á að kanna þessa fylgni og ákvarða veldisvísinn b í veldislögmálinu sem lýsir hegðun röðunarstuðulsins (sjá Jöfnu 1).

C.1 Misvægið $\left| \frac{N_1 - N_2}{N_1 + N_2} \right|$ kemur til greina sem röðunarstuðull fyrir kerfið okkar, þar sem það er núll fyrir ofan markútslagið og jafnt 1 fyrir lítil útslög. Ákvarðaðu þennan röðunarstuðul sem fall af útslaginu A . Skráðu niðurstöður þínar í **Töflu C.1**. 1.1pt

C.2 Teiknaðu graf af misvæginu $\left| \frac{N_1 - N_2}{N_1 + N_2} \right|$ sem fall af $|A_{\text{crit}}^2 - A^2|$, á **Graf C.2**, þar sem báðir ásar hafa lograskala (*log-log plot*). Þú getur notað **Töflu C.1** fyrir útreikninga. Punktarnir á grafinu þínu kunna að virðast fylgja ólínulegu sambandi, en framkvæmdu samt sem áður línulegt aðhvarf, í samræmi við jöfnuna sem skilgreinir markvísinn. 1pt

C.3 Ákvarðaðu markvísinn b og áætlaðu óvissuna. 1.4pt