

Ugráló gyöngyök - fázisátalakulások és instabilitások modellezése (10 pont)

A munka elkezdése előtt olvasd el a külön borítékban található általános utasítást!

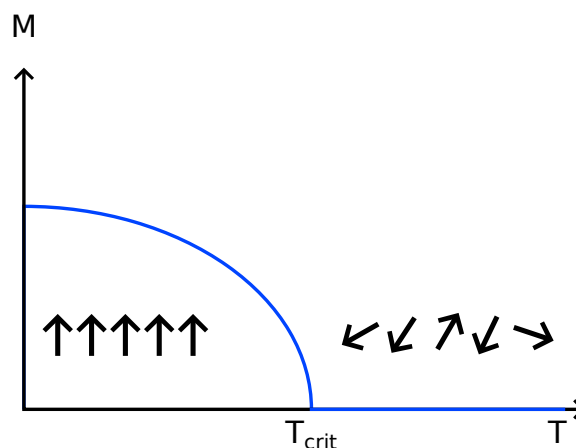
Bevezetés

A fázisátalakulások közismertek a mindennapi életből, pl. a víz szilárd, folyékony és gáz állapotú is lehet. Ezeket az állapotokat fázisátalakulások választják el egymástól, melyek során az anyag molekuláinak együttes viselkedése változik meg. Egy ilyen fázisátalakuláshoz mindig tartozik egy átalakulási hőmérséklet, amelyen a halmazállapot megváltozik, a víz esetén ez a fagyáspont és a forráspont.

Fázisátalakulások ennél azonban sokkal szélesebb körben, más rendszereknél is előfordulnak, mint pl. mágneseknél és szupravezetőknél, amelyekben az átalakulási hőmérséklet alatt az anyag makroszkopikus állapota rendre paramágnesesből ferromágnesessé, illetve normál vezetőből szupravezetővé változik.

Mindezen fázisátalakulások leírhatók egy közös formalizmussal, ha bevezetjük a rendparaméter fogalmát. Mágneseknél például a rendparaméter az atomi mágneses momentumok rendeződéséből adódó makroszkopikus mágneszettségnek felel meg.

Az úgynevezett folytonos fázisátalakulásokban a rendparaméter értéke mindig zérus az átalakulási hőmérséklet fölött, alatta pedig folytonosan növekszik, ahogy az egy mágneses anyag esetén az 1. ábrán látható. Folytonos fázisátalakulások esetén az átalakulási hőmérsékletet kritikus hőmérsékletnek nevezik. Az ábra a mágnesben lévő mikroszkopikus rendet vagy rendezetlenséget is szemlélteti; a ferromágneses állapotban az elemi mágneses momentumok irányítottasága makroszkopikus mágneszettséghez vezet, míg a paramágneses állapotban a véletlenszerű elrendeződés zérus makroszkopikus mágneszettséget eredményez.



1. ábra: Az M rendparaméter hőmérsékletfüggésének vázlata egy fázisátalakulás során. A T_{crit} kritikus hőmérséklet alatt a rendparaméter nullától különböző és növekszik, míg T_{crit} fölötti hőmérsékleteken nulla.

Folytonos fázisátalakulások esetén általánosan igaz, hogy az átalakulás közelében a rendparaméter hatványfüggést követ, azaz mágnességben az M mágneszettség a T_{crit} kritikus hőmérséklet alatt a követ-

kezőképp írható:

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

ahol T a hőmérséklet. Meg ennél is meglepőbb, hogy ez a viselkedés univerzális: a hatványfüggvény kitevője ugyanakkora sok, különböző típusú fázisátalakulás esetén.

Mérés célja

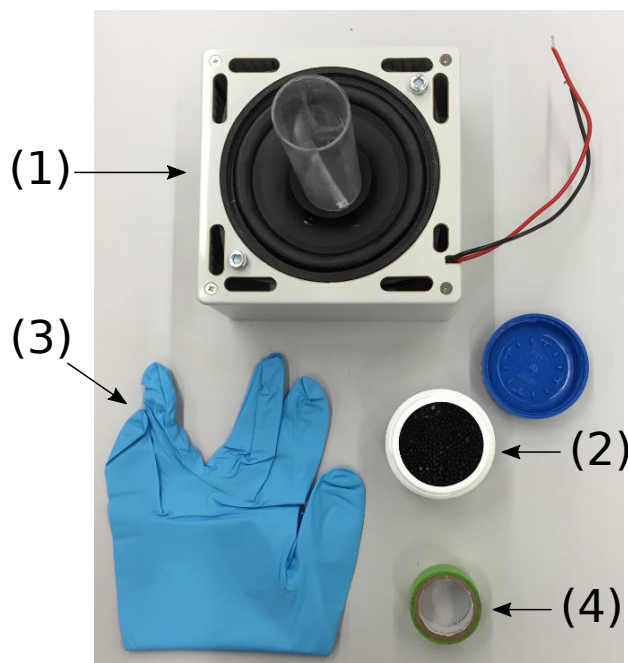
A következőkben egy egyszerű példán tanulmányozzuk a folytonos fázisátalakulások néhány jellegzetességét, mint pl. hogy egy instabilitás hogyan vezethet a részecskék kollektív viselkedéséhez és így a fázisátalakuláshoz, valamint hogy ez a makroszkopikus változás hogyan függ a részecskék gerjesztettségétől.

A leggyakoribb fázisátalakulásokban ezt a gerjesztettséget a hőmérséklet jellemzi. A mi példánkban a gerjesztettség egy hangszóró által gyorsított részecskék kinetikus energiájának felel meg. Az általunk vizsgált fázisátalakulásban a makroszkopikus változást a gyöngyöknek a kis fallal kettéosztott henger egyik felében való összegyűlése jelenti.

Az amplitúdó növelésekor a kezdetben csak a henger egyik felében összegyűlt gyöngyök egyszer csak két egyenlő részre válva rendeződnek el a rekeszekben. Ez felel meg a kritikus hőmérséklet fölé melegítésnek.

A feladatod a fázisátalakulás vizsgált modelljében a kritikus kitevő meghatározása.

Eszközök listája



2. ábra: Az ehhez a méréshez tartozó további eszközök.

1. hangszóróegység a tetejére rögzített műanyag hengerrel
2. kb. 100 növényi mag (egy műanyag edényben)
3. kesztyű
4. ragasztószalag

Fontos figyelmeztetés

- Ne fejts ki nagyobb oldalirányú erőt a hangszóróra szerelt műanyag hengerre. Ha a hangszóró membránja elszakad vagy a műanyag henger letörik róla, nem kaphatsz másikat!
- Ha a hangszóróegységet nem használod, kapcsold ki, hogy az akkumulátor felesleges lemerülését elkerüld.
- Ebben a mérésben a jelgenerátor oldalán található hangszórókimenet 4 Hz-es fűrészfogjelét kell használni.
- A fűrészfogjel amplitúdója a *speaker amplitude* (4) feliratú jobb oldali potméterrel állítható. A *speaker amplitude* (6) csatlakozó és a *GND* (7) csatlakozó között a jel amplitúdójával arányos egyenfeszültség jelenik meg. A számok az általános tudnivalókon található 2. ábra fotójára hivatkoznak.
- A hangszóró membránja érzékeny. Indokolatlanul ne fejts ki rá semmilyen nyomóerőt se függőleges, se oldalirányban.

Part A. Kritikus gerjesztési amplitúdó (3,3 pont)

Mielőtt hozzákezzesz ehhez a részhez, csatlakoztasd a hangszórót a jelgenerátor oldalán található kivezetésekhez (ügyelj a helyes polaritásra). Tégy valamennyi (mondjuk 50) növényi magot a hangszóróra erősített hengerbe, és használd a mellékelt kesztyű egy levágott darabját a henger tetejének lezárásához, hogy a magok a hengerben maradjanak. Indítsd be a gerjesztést a kapcsoló segítségével, és a mellékelt csavarhúzóval állítsd be az amplitúdót a jobb oldali *speaker amplitude* (4) feliratú potméter tekerésével. Különböző amplitúdók kipróbálásával figyelj meg a gyöngyök szétválását!

Az első feladat az átalakulás kritikus gerjesztési amplitúdójának meghatározása. Ennek érdekében meg kell mérned a két rekeszben lévő gyöngyök N_1 és N_2 számát (ahol a rekeszeket úgy indexeltük, hogy $N_1 \leq N_2$ legyen) a kijelzett A_D amplitúdó függvényében, amely nem más, mint a *speaker amplitude* kimeneten (6) mért feszültség. Ez a feszültség egyenesen arányos a hangszórót vezérlő fűrészfogjel amplitúdójával. Minden feszültségnél legalább 5 mérést végezz.

Útmutatás:

- Annak érdekében, hogy mindig legyen mozgás a részecskék között, csak olyan amplitúdókat vizsgálj, melyekhez tartozó *speaker amplitude* feszültség meghaladja a 0.7 V-ot. A feszültséget lassan változtatva először csak kezd el figyelni a rendszer viselkedését a gyöngyök mindenféle számolgtása nélkül. Megeshet, hogy néhány gyöngy elektrosztatikai okokból az alaplaphoz tapad, ezeket ne vedd számításba.

| | | |
|------------|---|-------|
| A.1 | A Table A.1 táblázatba jegyezd le a henger két felében lévő részecskék N_1 és N_2 számát különböző A_D amplitúdók mellett. | 1.2pt |
| A.2 | Számítsd ki az általad mért N_1 és N_2 értékek szórását, és eredményeidet írd be a Table A.1 táblázatba. Ábrázold N_1 és N_2 értékét a kijelzett A_D amplitúdó függvényében a Graph A.2 grafikonon, a szórásuk feltüntetésével. | 1.1pt |
| A.3 | A grafikonod segítségével határozd meg a kijelzett amplitúdó azon kritikus $A_{D,crit}$ értékét, amelynél $N_1 = N_2$, ha a stacionárius állapot eléréséig várunk. | 1pt |

Part B. Kalibráció (3,2 pont)

A kijelzett A_D amplitúdónak megfelel egy, a hangszóróra kapcsolt feszültség. A fizikailag érdekes mennyiség azonban a hangszóró rezgésének A maximális elmozdulása, mivel ez hozható kapcsolatba a gyöngyök gerjesztettségének erősségével. Ezért a kijelzett amplitúdót kalibrálni kell. Erre a célra, a mellékelt anyagok és eszközök bármelyikét felhasználhatod.

| | | |
|------------|---|-------|
| B.1 | Vázold a kísérleti összeállítást, amellyel a gerjesztési amplitúdót méred, azaz a hangszóró A maximális elmozdulását (mm-ben) egy rezgési periódus alatt. | 0.5pt |
| B.2 | Alkalmas számú pontban mérd meg az A amplitúdót mm-ben, azaz jegyezd fel az A amplitúdót az A_D kijelzett amplitúdó függvényében a Table B.2 táblázatban, és tüntesd fel a méréseid hibáját. | 0.8pt |
| B.3 | Ábrázold mért adataidat a Graph B.3 grafikonon a hibákkal együtt. | 1.0pt |

B.4 A kapott pontokra alkalmas görbét illesztve határozd meg az $A(A_D)$ kalibrációs függvényt jellemző paramétereket. 0.8pt

B.5 Határozd meg a növényi magvak A_{crit} kritikus gerjesztési amplitúdóját! 0.1pt

Part C. A kritikus kitevő (3,5 pont)

A mi rendszerünkben a hőmérséklet a gerjesztés által bevitt kinetikus energiának felel meg. Ez az energia egyenesen arányos a hangszóró sebességének négyzetével, azaz a $v^2 = A^2 f^2$ mennyiséggel, ahol f a rezgés frekvenciája. Most ezt az összefüggést fogjuk ellenőrizni, valamint meghatározzuk a rendparaméter viselkedését leíró hatványfüggvény b kitevőjét (lásd az (1) egyenletet).

C.1 Az $\left| \frac{N_1 - N_2}{N_1 + N_2} \right|$ kiegyensúlyozatlanság egy jó jelölt a rendszerünk rendparaméterének, ugyanis zérus a kritikus hőmérséklet fölött, alacsony gerjesztettségeknél pedig 1. Határozd meg ezt a rendparamétert az A amplitúdó függvényében. Eredményeidet írd be a **Table C.1** táblázatba. 1.1pt

C.2 Ábrázold az $\left| \frac{N_1 - N_2}{N_1 + N_2} \right|$ kiegyensúlyozatlanságot $|A_{\text{crit}}^2 - A^2|$ függvényében a **Graph C.2** grafikonon, melyen mindkét tengely beosztása logaritmikus (log-log grafikon). Használhatod a **Table C.1** táblázatot a szükséges számolásaidhoz. A grafikon pontjai látszólag nem feltétlenül követnek egy egyenest, ennek ellenére végezz lineáris illesztést a kritikus kitevő formulájával való egyezés érdekében. 1pt

C.3 Határozd meg a b kritikus kitevő értékét és becsüld meg a hibáját! 1.4pt