

Hyppivät helmet - Faasimuutosten ja epätasapainotilojen mekaaninen malli (10 pistettä)

Lue yleisohjeet erillisestä kuoresta ennen tämän tehtävän aloittamista.

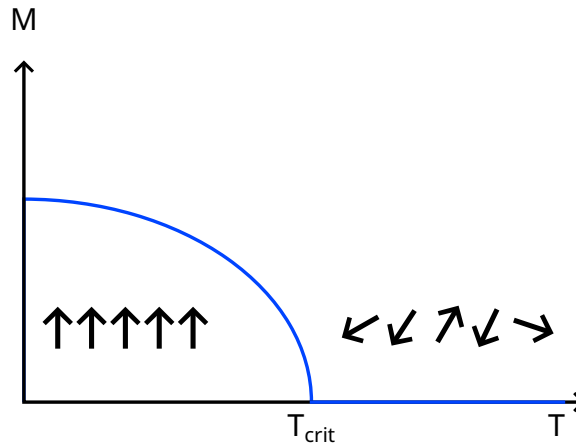
Johdanto

Faasimuutokset ovat tuttuja jokapäiväisestä elämästä esimerkiksi veden esiintyessä kiinteässä, neste-mäisessä sekä kaasumaisessa tilassa. Nämä tilat vaihtuvat faasimuutoksissa, missä aineen molekyylien kollektiivinen käyttäytyminen muuttuu. Faasimuutokseen liittyy aina tietty kriittinen lämpötila - veden tapauksessa tällaisia ovat esimerkiksi jäätymis- ja kiehumispisteet.

Faasimuutoksia tapahtuu laajalti myös muissa systeemeissä kuten magneeteissa ja suprajohteissa, missä tietyn kriittisen lämpötilan alittuessa aineen makroskooppinen tila vaihtuu paramagneettisesta ferromagneettiseksi tai tavallinen johde muuttuu suprajohtavaksi.

Kaikkia näitä muutoksia voidaan kuvata yhtenäisesti ns. järjestysparametrin kautta. Esimerkiksi magnetismin tapauksessa järjestysparametri liittyy yksittäisten atomien magneettisten momenttien ja makroskooppisen magnetisaation samansuuntaisuuteen.

Yleisesti ottaen järjestysparametri saa arvon nolla aina kriittisen lämpötilan yläpuolella ja kasvaa jatkuvasti sen alapuolella (ks. kuva 1). Kuvassa 1 on esitetty magneetin järjestysparametrin lisäksi mikroskooppinen järjestys ja epäjärjestys, missä yksittäiset atomaariset magneettiset momentit ovat järjestyneitä joko samansuuntaisesti tuottaen ferromagneettisen tilan (magneetti) tai satunnaisesti tuottaen paramagneettisen tilan (ei-magneetti).



Kuva 1: Periaatekuva lämpötilan vaikutuksesta järjestysparametriin M . Kriittisen lämpötilan T_{crit} alapuolella järjestysparametrin M arvo kasvaa ja poikkeaa nolasta, ja yläpuolella sen arvo on nolla.

Lähellä faasimuutosta järjestysparametri noudattaa hyvin usein potenssilakia. Magnetismin tapauksessa magnetisaatio M riippuu kriittisestä lämpötilasta T_{crit} sekä lämpötilasta T yhtälön

$$M \sim (T_{\text{crit}} - T)^b, \quad (1)$$

mukaisesti. Hämmästyttävää kyllä, tällainen käyttäytyminen on universaalia: eksponentin arvo on sama monille eri tyyppisille faasimuutoksille!

Tehtävä

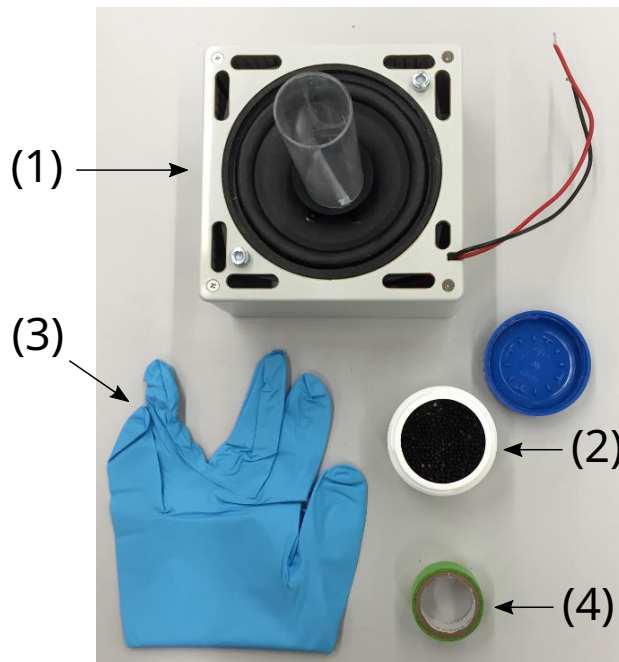
Tarkastellaan yksinkertaista esimerkkiä, jonka avulla voidaan tutkia joitakin faasimuutoksen ominaisuuksia. Tarkastellaan erityisesti sitä, kuinka epätasapaino johtaa hiukkasten kollektiiviseen käyttäytymiseen ja faasimuutokseen, sekä sitä, kuinka makroskooppinen muutos riippuu hiukkasten viritystilasta.

Useimmissa faasimuutoksissa viritystila määräytyy lämpötilan mukaan. Esimerkissämme viritystila vastaa hiukkasten kaiuttimen kalvolta saamaa pystysuuntaista nopeutta. Faasimuutosta vastaavassa makroskooppisessa muutoksessa pienet helmet järjestyvät pienellä seinällä jaetun sylinterin toiseen puoliskoon.

Jos kaiuttimen amplitudia kasvatetaan arvosta, missä helmet ovat keskittyneet vain toiseen puoliskoon, huomaat, että helmet jakautuvat uudelleen tasaisesti puoliskojen kesken. Tämä vastaa kriittisen lämpötilan ylittymistä.

Tavoitteenasi on määrittää käytetyn faasimuutosmallin kriittinen eksponentti.

Tarvikkeet



Kuva 2: Vain tässä tehtävässä tarvittava lisälaitteisto.

1. Muovisylinterillä varustettu kaiutinlaitteisto
2. Noin 100 unikonsiementä (muovisessa astiassa)
3. Kumihanska

4. Teippi

Tärkeää!

- Varo kohdistamasta sylinteriin sivuttaisia voimia. Mikäli kaiutinkalvo repeää tai sylinteri irtoaa, korvaavaa laitteistoa ei ole tarjolla.
- Kun et käytä kaiutinlaitteistoa, kytke se pois päältä virtalähdettä (paristoa) säästääksesi.
- Signaaligeneraattorin kyljessä olevista liitännöistä saat tässä tehtävässä tarvittavan 4 Hz saha-aaltosignaalin.
- Saha-aaltosignaalin amplitudia voit säätää käyttämällä oikeanpuoleista *speaker amplitude* -säätövastusta (4). Signaalin amplitudiin verrannollisen tasajännitteen (suhteessa *GND*- eli maaliitäntään (7)) saat mitattua *speaker amplitude* -liitännästä (6). (Numerot viittaavat yleisohjeen kuvaan signaaligeneraattorista.)
- Kaiuttimen kalvo on herkkä. Älä siis kohdistu siihen liian suuria voimia.

Osa A. Kriittisen viritystilän amplitudi (3,0 pistettä)

Ennen työskentelyn aloittamista, kytke kaiutin signaaligeneraattorin kyljessä oleviin liittimiin (huomioi navat). Lisää noin 50 unikonsiementä kaiutinkalvoon kytkettyyn sylinteriin ja leikkaa kumihanskasta pala sylinterin kanneksi. Kytke kaiutin päälle ja säädä ruuvimeisselillä amplitudia oikeanpuoleisesta *speaker amplitude* -säätövastuksesta (4). Kokeile eri amplitudeja ja tarkkaile siementen järjestymistä.

Ensimmäinen tehtävä on määrittää annetun systeemin muutokseen liittyvä kriittisen viritystilän amplitudi. Tätä varten on ensin määritettävä sylinterin puoliskojen sisältämien siementen lukumäärät N_1 ja N_2 (nimetään puoliskot siten, että $N_1 \leq N_2$) mitatun amplitudin A_D (*speaker amplitude* -liitännästä (6) mitattu jännite) funktiona. Kyseinen jännite on verrannollinen kaiuttimelle syötetyn saha-aaltosignaalin amplitudiin. Tee ainakin viisi mittausta kutakin jännitteen arvoa kohti.

Vinkki:

- Pitääksesi siemenet jatkuvasti liikkeessä, tutki ainoastaan amplitudeja, jotka vastaavat *speaker amplitude* -liitännästä mitatun jännitteen 0.7 V ylittäviä arvoja. Aloita systeemin tarkastelu muuttelemalla jännitteen arvoa siemeniä tarkemmin laskematta.

Jotkin siemenet voivat sähköistyä ja tarttua sylinterin pohjaan. Älä laske näitä siemeniä mukaan.

A.1	Kirjaa useilla eri amplitudeilla A_D laskemasi siementen lukumäärät puoliskoissa N_1 ja N_2 Taulukkoon A.1.	1.2pt
A.2	Laske keskihajonta lukumäärille N_1 ja N_2 sekä kirjaa tuloksesi Taulukkoon A.1. Piirrä Kuvaajaan A.2 lukumäärät N_1 ja N_2 mitatun amplitudin A_D funktiona. Sisällytä kuvaan lukumäärien virhearviot.	1.1pt
A.3	Määritä kriittinen mitattu amplitudi $A_{D,crit}$ määrittämällä kuvaajastasi piste, jossa lukumäärät N_1 ja N_2 ovat pitkän ajan kuluttua (systeemi stationaarisessa tilassa) yhtä suuret.	1pt

Osa B. Kalibraatio (2,5 pistettä)

Mitattu amplitudi A_D vastaa kaiuttimelle syötettyä jännitettä. Fysikaalisesti mielenkiintoinen suure on kuitenkin kaiutinkalvon värähtelyn maksimisiirtymä A , joka kuvaa siementen viritystilän voimakkuutta. Kalibroidaan mitattu amplitudi vastaamaan kalvon siirtymää. Voit käyttää kaikkia tarjolla olevia välineitä ja tarvikkeita.

B.1	Piirrä koeasetelma, jonka avulla mittaat virittävän amplitudin eli kaiutinkalvon ääriasetojen välisen maksimietäisyyden A (yksikössä mm).	0.5pt
B.2	Määritä amplitudi A (yksikössä mm) sopivalle määrälle mittauspisteitä. Toisin sanoen, kirjaa amplitudi A mitatun amplitudin A_D funktiona Taulukkoon B.2. Kirjaa myös mittaustulosten virhearviot.	0.8pt
B.3	Piirrä mittaustulokset virhearvioineen Kuvaajaan B.3.	1.0pt

B.4 Määritä syntyvän käyrän parametrit käyttämällä sopivaa sovitusta kalibraatio-funktion $A(A_D)$ määrittämiseen. 0.8pt

B.5 Määritä unikonsiemensysteemiin liittyvä kriittinen viritysamplitudi A_{crit} . 0.1pt

Osa C. Kriittinen eksponentti (2,5 pistettä)

Systeemissämme lämpötila vastaa virityksen liike-energiaa. Tämä energia on verrannollinen kaiutinkalvon nopeuden neliöön $v^2 = A^2 f^2$, missä f on värähtelyn taajuus. Testataan kyseistä riippuvuutta ja määritetään järjestysparametrin käyttäytymiseen liittyvän potenssilain eksponentti b (ks. Yhtälö 1).

C.1 Epätasapaino $\left| \frac{N_1 - N_2}{N_1 + N_2} \right|$ on hyvä ehdokas systeemimme järjestysparametriksi, sillä sen arvo on nolla kriittisen amplitudin yläpuolella sekä yksi matalilla viritystilastoilla. Määritä järjestysparametrin arvo amplitudin A funktiona. Kirjaa tuloksesi **Taulukkoon C.1**. 1.1pt

C.2 Piirrä kuvaaja epätasapainosta $\left| \frac{N_1 - N_2}{N_1 + N_2} \right|$ tekijän $|A^2 - A_{\text{crit}}^2|$ funktiona **Kuvaajaan C.2**, jossa molemmilla akseleilla on logaritminen asteikko. Voit käyttää **Taulukon C.1** arvoja laskuissasi. Kuvaajan pisteet eivät välttämättä sovi suoralle kovin kauniisti, mutta teemme silti potenssilain mukaisen lineaarisen sovituksen. 1pt

C.3 Määritä eksponentin b arvo virhearvioineen. 1.4pt