

Bile săltărețe - Un model pentru tranziții de fază și instabilități (10 puncte)

Înainte să începi rezolvarea problemei, citește instrucțiunile generale aflate într-un plic separat.

Introducere

Tranzițiile de fază sunt bine cunoscute din viața de zi cu zi; de exemplu, apa se poate afla în stări diferite - solidă, lichidă și gazoasă. Aceste stări diferite sunt separate prin tranziții de fază în cursul cărora comportamentul colectiv al moleculelor din material se schimbă. O astfel de tranziție de fază este asociată întotdeauna cu o temperatură de tranziție, temperatură la care starea se schimbă; astfel pentru apa din exemplul de mai sus temperaturile de tranziție sunt temperaturile de îngheț și respectiv de fierbere.

Tranzițiile de fază sunt însă cu mult mai răspândite și apar și în alte sisteme, ca de exemplu în magneți sau în supraconductori, la care sub o anumită temperatură de tranziție starea macroscopică se schimbă de la paramagnet la feromagnet și respectiv de la conductor normal la supraconductor.

Toate aceste tranziții pot fi descrise într-un cadru comun, prin introducerea unui așa numit parametru de ordine. De exemplu, în magnetism parametrul de ordine este asociat cu alinierea momentelor magnetice ale atomilor la o magnetizare macroscopică.

În așa numitele tranziții de fază continue, parametrul de ordine va fi întotdeauna zero peste temperatura critică după care va crește continuu sub această temperatură, așa cum se arată pentru un magnet, în figura 1 de mai jos. Temperatura de tranziție într-o tranziție de fază continuă este numită temperatură critică. Figura de mai jos conține de asemenea o reprezentare schematică a ordinii sau dezordinii microscopice în cazul unui magnet, în care momentele magnetice individuale se aliniază în starea feromagnetice, dând naștere unei magnetizări macroscopice în creștere - în timp ce momentele magnetice individuale sunt orientate aleator, ceea ce produce o magnetizare macroscopică nulă.

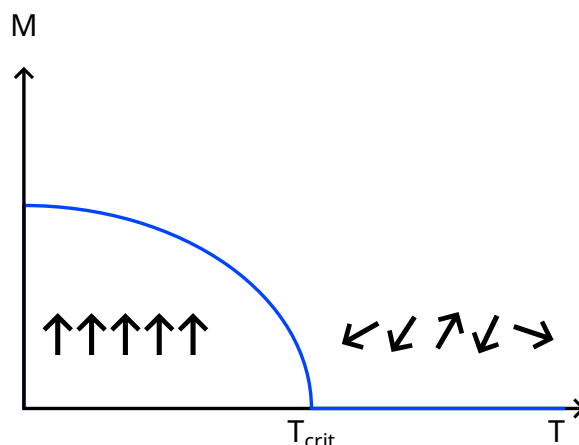


Figura 1: Reprezentarea schematică a dependenței temperaturii de un parametru de ordine M al tranziției de fază. Sub temperatura critică T_{crit} , parametrul de ordine crește și este nenul; parametrul de ordine este nul la temperaturi peste T_{crit} .

Pentru tranzițiile de fază continue, s-a determinat că în apropierea tranziției parametrul de ordine are o dependență de tip putere; de exemplu, în magnetism, magnetizarea M sub temperatura critică T_{crit} are

expresia:

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

unde T este temperatura. Ceea ce este și mai uimitor este că acest comportament este universal: exponentul dependenței de tip putere este același pentru numeroase tipuri diferite de tranziții de fază.

Scopul experimentului

Vei studia un exemplu simplu prin care poți investiga unele dintre caracteristicile unei tranziții de fază, ca de exemplu modul în care o instabilitate conduce la comportamentul colectiv al particulelor și deci la tranziția de fază; vei urmări, de asemenea, modul în care schimbările macroscopice depind de excitarea particulelor.

În tranzițiile de fază obișnuite, excitarea este determinată de obicei de temperatură. În exemplul nostru, excitarea constă în energia cinetică a particulelor accelerate de difuzor. Schimbarea macroscopică ce corespunde tranziției de fază pe care o vei studia, constă în selectarea bilelor într-o jumătate a cilindrului, împărțit în două printr-un mic perete.

Crescând amplitudinea peste valoarea la care particulele sunt adunate într-o jumătate a cilindrului, vei găsi că particulele se distribuie uniform între cele două jumătăți ale cilindrului. Situația corespunde aceleia în care s-a făcut o încălzire peste temperatura critică.

Scopul experimentului este de a determina exponentul critic pentru modelul de tranziție de fază studiat.

Lista materialelor

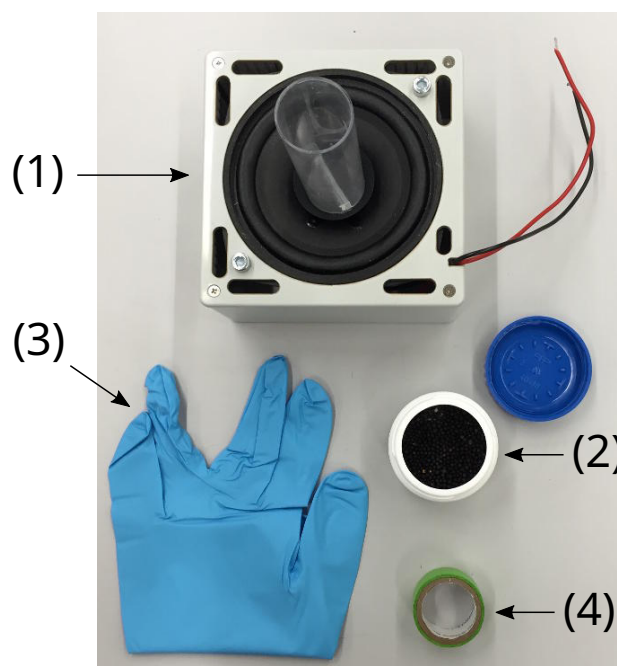


Figura 2: Echipament suplimentar pentru acest experiment.

1. Ansamblu alcătuit dintr-un difuzor având un cilindru de plastic montat pe partea superioară a membranei difuzorului.
2. Aproximativ 100 de semințe de mac (aflate într-o cutie de plastic).
3. O mănușă.
4. Bandă adezivă.

Precauții importante

- Nu aplica forțe laterale excesive asupra paharului de plastic montat pe membrana difuzorului. Ai în vedere că nu se va face înlocuirea dispozitivului în cazul ruperii membranei difuzorului sau a desprinderii cilindrului de plastic de membrana difuzorului.
- Pentru a evita descărcarea inutilă a bateriei, oprește ansamblul difuzorului atunci când acesta nu este folosit.
- În acest experiment, pe terminalele difuzorului așezat lângă generatorul de semnal se aplică un semnal dinți de ferăstrău cu frecvența de 4 Hz .
- Amplitudinea semnalului dinți de fierăstrău poate fi reglată folosind potențiometrul din dreapta, inscripționat cu speaker amplitude (4). Un semnal de tensiune continuă proporțional cu amplitudinea semnalului dinți de fierăstrău este trimis către borna (6) de monitorizare a amplitudinii semnalului dinți de fierăstrău (tensiunea se măsoară față de borna GND (7)). Numerele citate se referă la fotografia prezentată în instrucțiunile generale.
- Membrana difuzorului este delicată. Asigură-te mereu că nu-i aplici presiuni inutile pe verticală sau lateral.

Partea A. Amplitudinea pentru excitarea critică (3,3 puncte)

Înainte să începi această sarcină de lucru, conectează difuzorul la terminalele de pe peretele lateral al generatorului de semnal (asigură-te că folosești polaritatea corectă). Pune câteva semințe de mac (de exemplu 50) în cilindru montat pe difuzor și folosește o bucată tăiată din mânășă pentru a închide cilindru la capătul de sus, pentru a păstra semințele de mac în interiorul cilindrului. Folosind comutatorul, pornește excitarea și ajustează amplitudinea rotind cu ajutorul șurubelniței potențiometrul din dreapta, etichetat *speaker amplitude* (4). Observă sortarea bilelor (semințelor de mac) făcând încercări pentru amplitudini diferite.

Prima sarcină de lucru este să determini amplitudinea critică de excitare a tranziției. Pentru a face acest lucru, trebuie să determini numărul de bile N_1 și N_2 în cele două compartimente (alege numărul compartimentului astfel încât $N_1 \leq N_2$) ca funcție de amplitudinea A_D , indicată, care este tensiunea măsurată la borna *speaker amplitude* (6). Această tensiune este proporțională cu amplitudinea semnalului dinți de fierăstrău care comandă difuzorul. Fă cel puțin 5 măsurări pentru fiecare tensiune.

Indicație

- Pentru a avea întotdeauna o mișcare a particulelor pe care le studiezi, investighează numai situațiile în care amplitudinile corespund unui potențial mai mare de 0,7 V la borna *speaker amplitude*. Începe prin a urmări comportamentul sistemului la variația lentă a tensiunii fără a număra bilele. Este cu puțință ca unele dintre bile să se lipească de baza cilindrului datorită interacțiunii electrostatice. Nu număra aceste bile.

A.1	Înregistrează în Table A.1. măsurările numărului de particule N_1 și N_2 , din fiecare dintre jumătățile cilindrului, pentru diferite amplitudini A_D .	1.2pt
A.2	Calculează deviația standard a măsurărilor tale pentru N_1 și N_2 și scrie rezultatele în Table A.1. Trasează N_1 și N_2 ca funcție de amplitudinea afișată A_D în Graph A.2 , incluzându-le erorile.	1.1pt
A.3	Bazându-te pe graficul pe care l-ai trasat, determină amplitudinea critică afișată $A_{D,crit}$ pentru care $N_1 = N_2$, în situația în care ai așteptat suficient astfel încât să se atingă o stare staționară.	1pt

Partea B. Calibrarea (3,2 puncte)

Amplitudinea afișată A_D corespunde unei tensiuni aplicate pe difuzor. Totuși, mărimea interesantă din punct de vedere fizic este deplasarea maximă A în cursul oscilației membranei difuzorului, deoarece această mărime este corelată cu cât de tare sunt excitate bilele. Prin urmare, este necesar să faci o calibrare pentru amplitudinea afișată. În acest scop poți folosi oricare dintre materialele și instrumentele care ți-au fost puse la dispoziție.

B.1	Fă o schiță a montajului pe care l-ai folosit ca să măsoari amplitudinea excitației - adică distanța maximă A (în mm) pe care se deplasează membrana difuzorului într-o perioadă de oscilație.	0.5pt
B.2	Determină amplitudinea A în mm pentru un număr adecvat de puncte, adică înregistrează amplitudinea A ca funcție de amplitudinea afișată A_D în Table B.2 și indică erorile măsurărilor.	0.8pt

B.3	Reprezintă grafic datele în Graph B.3 , incluzând erorile.	1.0pt
B.4	Determină parametrii curbei rezultate, folosind un fit adecvat pentru a determina funcția de calibrare $A(A_D)$.	0.8pt
B.5	Determină amplitudinea de excitare critică A_{crit} pentru semințele de mac.	0.1pt

Partea C. Exponentul critic (3,5 puncte)

În sistemul nostru temperatura corespunde energiei cinetice a excitării. Această energie este proporțională cu pătratul vitezei membranei difuzorului adică cu $v^2 = A^2 f^2$, unde f este frecvența oscilației. În cele ce urmează vei testa această dependență și vei determina exponentul b al dependenței de tip putere care guvernează comportamentul parametrului de ordine (vezi Eq. 1).

C.1	Dezechilibrul $\left \frac{N_1 - N_2}{N_1 + N_2} \right $ este un candidat bun pentru poziția de parametru de ordine în sistemul considerat, deoarece are valoarea zero peste amplitudinea critică și este egal cu 1 la amplitudini mici de excitare. Determină acest parametru de ordine ca funcție de amplitudinea A . Scrie rezultatele în Table C.1 .	1.1pt
C.2	Trasează graficul dezechilibrului $\left \frac{N_1 - N_2}{N_1 + N_2} \right $ ca funcție de $ A_{\text{crit}}^2 - A^2 $ și notează-l în Graph C.2 . În grafic ambele axe sunt logaritmice (reprezentare dublu logaritmică). Pentru calcule poți folosi Table C.1 . S-ar putea ca punctele graficului să nu pară că se supun unei dependențe liniare, dar poți face totuși o regresie liniară pentru a găsi formula exponentului critic.	1pt
C.3	Determină exponentul b și estimează-i eroarea.	1.4pt