

Подскачащи зърна - модел на фазов преход и неустойчивост (10 points)

Моля, прочетете общите инструкции в отделния плик преди да започнете работа по задачата.

Увод

Фазовите преходи са добре известни във всекидневието - например водата заема различни състояния, като твърдо тяло, течност или газ. Преходите между тези състояния се наричат фазови преходи и са свързани с промяна на колективното поведение на частиците. Фазовите преходи винаги настъпват при определена температура, като температурата на топене или кипене от примера по-горе.

Фазови преходи са и преходите от парамагнитно във феромагнитно състояние или преходът от нормален метал към свръхпроводник.

Повечето от фазовите преходи се подчиняват на общи закономерности, ако бъде въведен т.нар. параметър на подреждане. Например в магнетизма параметър на подреждане е сумарният магнитен момент на атомите на веществото.

В т.нар. непрекъснати фазови преходи параметърът на подреждане е нула над определена температура и започва да нараства постепенно при охлаждане под тази температура, както е показано на фиг. 1 за прехода към феромагнитно състояние. Най-общо, температурата, при която протича един непрекъснат фазов преход, се нарича критична температура. На фигурата е илюстрирано и как хаотично ориентираните магнитни моменти на атомите се подреждат под критичната температура и водят до ненулев общ магнитен момент.

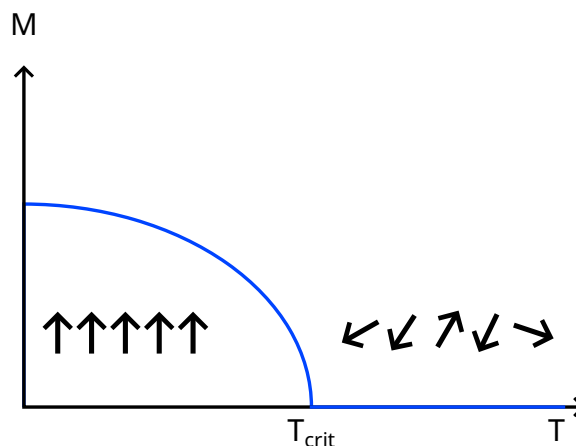


Figure 1: Схематична графика на параметъра на подреждане M от температурата при магнитен фазов преход. Под критичната температура T_{crit} , параметърът на подреждане е ненулев и нараства при охлаждане. Над T_{crit} параметърът на подреждане е нула.

Близо до критичната температура зависимостта на параметърът на подреждане от температурата се дава със степенна функция. Например за магнитния момент M близо до T_{crit} , е в сила:

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

където T е температурата. Забележително е, че степенна зависимост с един и същ степенен показател се наблюдава и при много други фазови преходи.

Цел на задачата

Тук ще изследвате прост пример, който илюстрира общите свойства на непрекъснатите фазови преходи: как неустойчивостта води до колективно поведение на частиците и как подреждането на частиците зависи от степента на възбуждане на частиците.

В често срещаните фазови преходи става въпрос за топлинно възбуждане, което се определя от температурата на системата. В нашия случай възбуждането се осъществява посредством трептящ високоговорител. Промяната в подреждането представлява групиране на частиците в една от половините на цилиндър, разделен на две части от ниска преграда.

При увеличаване на амплитудата на трептене на цилиндъра над определена стойност частиците ще се разпределят равномерно в двете половини. Това съответства на загряване над критичната температура.

Целта е да определите степенния показател за този модел на фазов преход.

Материали и оборудване

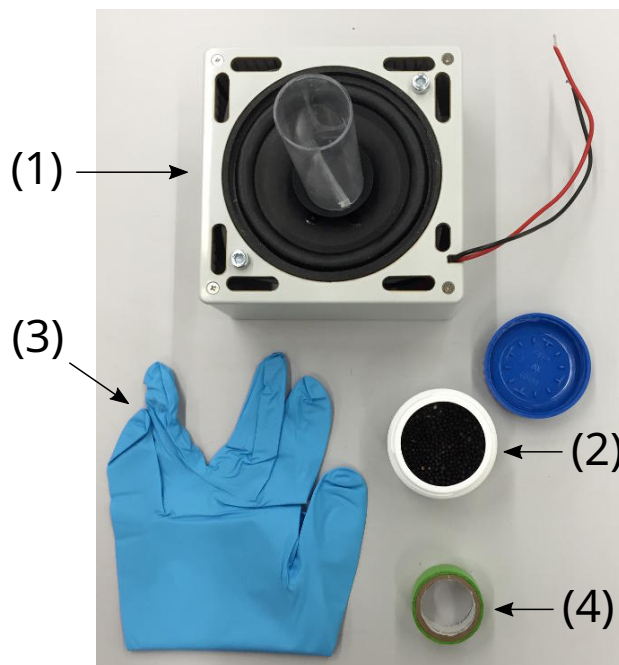


Figure 2: Допълнително оборудване за този експеримент.

1. Високоговорител със закрепен върху него пластмасов цилиндър
2. Около 100 зрънца в пластмасова кутия)
3. Гумена ръкавица

4. Тиксо

Важно

- Не прилагайте сила странично на цилиндъра, за да не го отлепите от мембраната на високоговорителя. Установката ви няма да бъде подменена.
- Винаги изключвайте високоговорителя, когато не работите с установката, за да избегнете изтощаване на батерията.
- В този експеримент се използва трионообразно напрежение с честота 4 Hz от изхода за високоговорител, разположен странично на тонгенератора.
- Амплитудата на трионообразното напрежение може да се регулира с десния потенциометър, означен с (4). Постоянно, DC напрежение, пропорционално на амплитудата на променливия сигнал, е подадено между изходите (6) и (7). Номерата съответстват на дадените на Figure 2 от общите инструкции.
- Мембраната на високоговорителя е много чувствителна. Не прилагайте върху нея ненужна сила - нито вертикално, нито хоризонтално.

Part A. Критична амплитуда (3.3 points)

Преди да започнете измервания, свържете високоговорителя към страничните изводи на тонгенератора (спазвайте правилната полярност). Сложете 50 зърна в цилиндъра върху високоговорителя. Отрежете пръст от гумената ръкавица и с него запушете горния отвор на цилиндъра, така че зърната да не излизат от него. Включете захранването на тонгенератора чрез ключа и регулирайте амплитудата на променливото напрежение с потенциометъра (4), като го въртите с отвертката. Като променяте амплитудата, наблюдавайте как зърната се групират в едната половина на цилиндъра.

Първата задача е да определите критичната амплитуда на този фазов преход. За целта, трябва да определите броя зърна N_1 и N_2 в двете половини (номерата на половините са избрани така, че $N_1 \leq N_2$) като функция на напрежението A_D , измерено на изхода (6). Това напрежение е пропорционално на амплитудата на трионообразното напрежение върху високоговорителя. Направете поне 5 измервания за всяко напрежение.

Указание:

- За да подскочат зрънцата, е нужно да прилагате сигнал с амплитуда над 0.7 V. В началото просто наблюдавайте поведението на системата при промяна на напрежението, без да броят зрънцата. Възможно е някои от зрънцата да се залепят за основата поради електростатични сили. Не броят тези зрънца.

A.1	Запишете резултатите от измерванията на броя N_1 и N_2 на зрънцата във всяка половина при различни напрежения A_D в таблицата Table A.1 .	1.2pt
------------	--	-------

A.2	Пресметнете средноквадратичните грешки на измерванията на N_1 и N_2 и нанесете вашите резултати в Table A.1 . Постройте графика на N_1 и N_2 като функция на напрежението A_D върху Graph A.2 , като означите и съответните грешки.	1.1pt
------------	---	-------

A.3	От графиката определете критичното напрежение $A_{D,crit}$, при което $N_1 = N_2$.	1pt
------------	--	-----

Part B. Калибриране (3.2 points)

Напрежението A_D , е пропорционално на амплитудата на трионообразното напрежение върху високоговорителя. Важният параметър обаче е амплитудата A на отместване на високоговорителя при неговото трептене. Затова трябва да калибрирате показанията за напрежение към стойности на амплитудата на трептене. Можете да използвате всички дадени уреди и материали.

B.1	Нарисувайте схема на опитна установка за измерване на амплитудата A (в mm) на трептене на цилиндъра, дефинирана като разстояние между двете крайни положения.	0.5pt
------------	---	-------

B.2	Измерете амплитудата на трептене A в mm за достатъчен броя точки, т.е. определете A при различни напрежения A_D и запишете резултатите в Table B.2 . Оценете грешките на вашите измервания.	0.8pt
------------	--	-------

B.3	Нанесете експерименталните точки на графиката Graph B.3 , като означите и грешките.	1.0pt
B.4	От графиката определете характерните параметри на калибровъчната функция $A(A_D)$.	0.8pt
B.5	Определете критичната амплитуда на трептене A_{crit} на фазовия преход.	0.1pt

Part C. Степенен показател (3.5 points)

В нашата система, параметърът, съответстващ на температура, е кинетичната енергия на зрънцата. Тя е пропорционална на квадрата на скоростта на високоговорителя, т.е. на $v^2 = A^2 f^2$, където f е честотата на трептене. Ще използваме тази връзка, за да намерим степенния показател b в зависимостта на параметъра на подреждане от температурата (виж уравнение Eq. 1).

C.1	Относителната разлика $\left \frac{N_1 - N_2}{N_1 + N_2} \right $ е подходящ параметър на подреждане, защото е равен на нула над критичната амплитуда и е ненулев, клонящ към 1 при малки амплитуди. Определете така дефинирания параметър на подреждане като функция на A . Нанесете резултатите в таблицата Table C.1 .	1.1pt
C.2	Начертайте $\left \frac{N_1 - N_2}{N_1 + N_2} \right $ като функция на $ A_{\text{crit}}^2 - A^2 $, на Graph C.2 , където и двете оси са в логаритмичен мащаб (двойно-логаритмична графика). Можете да използвате данните от Table C.1 при вашите пресмятания. Дори, ако точките на графиката видимо не лежат на права, все пак прекарайте права линия чрез линейна регресия, за да определите степенния показател.	1pt
C.3	Пресметнете степенния показател b и оценете неговата грешка.	1.4pt