

Skaczące ziarenka – model przejścia fazowego i niestabilności (10 points)

Przeczytaj Instrukcje ogólne (w osobnej kopercie) zanim zaczniesz rozwiązywać to zadanie.

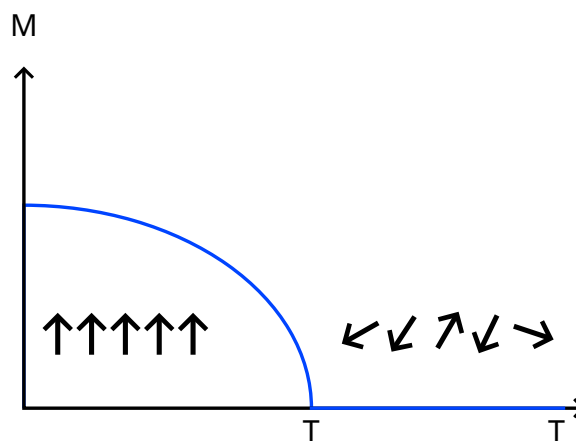
Wstęp

Przejścia fazowe są znane z życia codziennego, na przykład woda występuje jako ciało stałe, ciecz lub para. Zmiana stanu skupienia to przejście fazowe, podczas którego zmienia się kolektywne zachowanie cząsteczek w ośrodku. Zmiana fazy jest zawsze związana z temperaturą przejścia, w której zmienia się stan skupienia, na przykład temperaturą zamarzania i wrzenia wody w podanym przykładzie.

Przejścia fazowe są jeszcze bardziej powszechne i zachodzą również w innych układach, takich jak magnesy i nadprzewodniki, w których przy obniżeniu temperatury poniżej krytycznej makroskopowy stan zmienia się od paramagnetyka do ferromagnetyka i od nadprzewodnika do przewodnika.

Wszystkie te przejścia mogą być opisane w jednolity sposób, gdy wprowadzi się tak zwany parametr porządku. Na przykład w magnetykach parametr porządku jest związany z uporządkowaniem momentów magnetycznych atomów, co daje makroskopową magnetyzację.

W tak zwanych ciągłych przemianach fazowych parametr porządku ma wartość zero powyżej temperatury krytycznej i rośnie w sposób ciągły poniżej tej temperatury, co pokazano schematycznie na rysunku 1. Temperatura przejścia w ciągłych przemianach fazowych jest nazywana temperaturą krytyczną. Rysunek zawiera też schemat mikroskopowego porządku lub nieporządku w przypadku magnesu, gdy poszczególne momenty magnetyczne w stanie ferromagnetycznym są uporządkowane i dają makroskopową magnetyzację, podczas gdy w stanie paramagnetycznym są one ułożone przypadkowo, co daje zerową makroskopową magnetyzację.



Rysunek 1: Schematyczne przedstawienie zależności parametru porządku M od temperatury w przejściu fazowym. Parametr porządku jest różny od zera i rośnie poniżej temperatury krytycznej T_{crit} , natomiast jest równy zero w temperaturach wyższych od T_{crit} .

W ciągłych przemianach fazowych w pobliżu przejścia fazowego parametr porządku zachowuje się zgodnie z prawem wykładniczym, na przykład magnetyzacja M poniżej temperatury krytycznej T_{crit} , jest dana przez:

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

gdzie T jest temperaturą. Uniwersalność jest jeszcze bardziej zdumiewająca: wykładnik w tym wyrażeniu jest taki sam dla wielu różnych przejść fazowych.

Zadanie

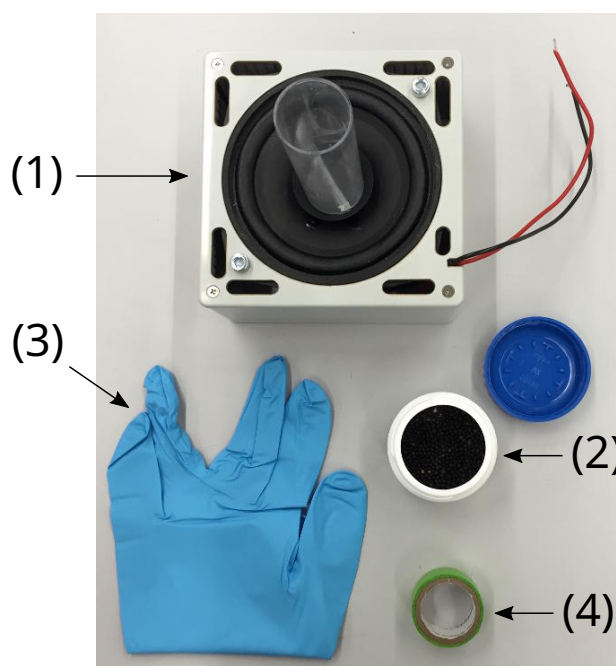
Będziemy analizować prosty przykład, na którym można zbadać niektóre cechy ciągłych przejść fazowych, takie jak niestabilność, która prowadzi do kolektywnego zachowania się cząstek, a więc do przejścia fazowego jak również do makroskopowej zmiany zależnej od wzbudzenia cząstek.

W typowych przejściach fazowych wzbudzenia są spowodowane temperaturą. W naszym przykładzie wzbudzenie to energia kinetyczna cząstek przyspieszanych przez głośnik. Makroskopowa zmiana odpowiadająca badanemu przejściu fazowemu polega na zbieraniu się ziarenek w jednej połowie cylindra, oddzielonej od drugiej małą przeszkodą.

Zwiększanie amplitudy drgań zaczynając od takiej, że ziarenka zgromadziły się w jednej połowie cylindra, powoduje, że w końcu cząstki zgromadzą się w równych ilościach w obu połówkach. To odpowiada rozgrzaniu do temperatury powyżej krytycznej.

Twoim zadaniem jest wyznaczenie wykładnika krytycznego w przejściu fazowym określonym przez badany model.

Spis przyrządów



Rysunek 2: Dodatkowe przyrządy do wykonania tego doświadczenia .

1. Głośnik z plastikowym cylindrem przymocowanym na górze.
2. Około 100 ziaren (w plastikowym pojemniku)
3. Rękawiczka
4. Taśma samoprzylepna

Ważne środki ostrożności

- Nie przykładaj nadmiernej siły do plastikowego cylindra umieszczonego nad głośnikiem. Nie będzie możliwe otrzymanie drugiego zestawu w przypadku uszkodzenia membrany głośnika ani podarte-go plastiku.
- Wyłącz układ elektryczny głośnika gdy nie jest on używany, aby oszczędzić baterię.
- W tym doświadczeniu na wejście głośnika głośnika podawany jest sygnał w kształcie piły o częstotliwości 4 Hz odbierany z wyjścia umieszczonego z boku generatora.
- Amplituda sygnału w kształcie piły może być regulowana przez prawy potencjometr oznaczony *speaker amplitude* (4). Stałe napięcie proporcjonalne do amplitudy sygnału podane jest na wyjście *speaker amplitude* (6) (względem wyjścia GND (7)). Liczby odnoszą się do fotografii pokazanej w Ogólnej instrukcji (Rysunek 2).
- Membrana głośnika jest delikatna. W żadnym wypadku nie ciśnij membrany ani w pionie ani w poziomie.

Część A. Krytyczna amplituda wzbudzeń (3.3 points)

Zanim zaczniesz rozwiązywać zasadniczą część zadania, podłącz głośnik do wyjść z boku generatora sygnałów (upewnij się, że użyłeś właściwej polaryzacji). Włóż pewną liczbę, (na przykład 50) ziarenek do cylindra zamontowanego nad głośnikiem i wykorzystaj uciętą część rękawiczki do zamknięcia cylindra aby utrzymać ziarenka w cylindrze. Włącz wzbudzenie używając wyłącznika i dobierz amplitudę przekręcając prawy potencjometr, oznaczony *speaker amplitude* (4). Zauważ rozdzielanie ziarenek przy różnych amplitudach.

Pierwszym zadaniem jest wyznaczenie krytycznej wartości amplitud przejścia. Aby to zrobić musisz określić liczbę ziarenek N_1 and N_2 w obu częściach (wybierając pierwszą i drugą tak, aby $N_1 \leq N_2$) jako funkcję amplitudy A_D , czyli napięcia odczytanego z wyjścia *speaker amplitude* (6). To napięcie jest proporcjonalne do sygnału w kształcie piły powodującego drgania głośnika. Wykonaj co najmniej 5 pomiarów dla każdego napięcia.

Wskazówka

- Aby w każdym przypadku uzyskać zamierzony ruch cząstek, rozważaj amplitudy odpowiadające napięciom na *speaker amplitude* przekraczające 0.7 V. Rozpocznij od obserwacji zachowania się układu zmieniając pomału napięcie bez zliczania ziaren. Może się zdarzyć, że niektóre ziarna będą przylepione do podłoża z powodu zjawisk elektrostatycznych. Nie zliczaj tych ziaren.

A.1	Zapisz w Tabeli A.1 wyniki swoich pomiarów liczby cząstek N_1 i N_2 w każdej części dla różnych amplitud A_D .	1.2pt
A.2	Oblicz odchylenie standardowe swoich pomiarów N_1 i N_2 i wpisz swoje wyniki do Tabeli A.1 . Wykonaj na wykres Graph A.2 wielkości N_1 i N_2 w funkcji odczytanej amplitudy A_D , uwzględniając ich niepewności.	1.1pt
A.3	Na podstawie wykresu wyznacz krytyczną amplitudę $A_{D,crit}$ dla której $N_1 = N_2$, odczekując aż osiągnięty zostanie stan ustalony.	1pt

Część B. Kalibracja (3.2 points)

Odczytana amplituda A_D , odpowiada napięciu na głośniku. Jednak istotna fizyczna wielkość to największe przesunięcie A oscylacji głośnika, ponieważ to ono wyznacza, jak silnie ziarna są wzbudzone. Dlatego powinieneś skalibrować odczytaną amplitudę. Możesz do tego użyć wszystkich dostarczonych narzędzi i przyrządów.

B.1	Naszkluj, w jaki sposób zmierzyłeś amplitudę wzbudzeń, to znaczy maksymalne wychylenie A (in mm) głośnika podczas jednego okresu.	0.5pt
B.2	Wyznacz amplitudę A w mm dla odpowiedniej liczby punktów, to znaczy zapisz amplitudę A w funkcji odczytanej amplitudy A_D w Tabeli B.2 i podaj niepewności swoich pomiarów.	0.8pt
B.3	Wykonaj wykres Graph B.3 swoich wyników, uwzględniając niepewności.	1.0pt

B.4 Wyznacz parametry otrzymanej krzywej wykorzystując właściwe dopasowanie do wyznaczenia funkcji kalibracji $A(A_D)$. 0.8pt

B.5 Wyznacz krytyczną wartość amplitudy wzbudzeń A_{crit} badanych ziarenek. 0.1pt

Part C. Wykładnik krytyczny (3.5 points)

Odpowiednikiem temperatury w naszym układzie jest energia kinetyczna cząstek. Jest ona proporcjonalna do kwadratu prędkości głośnika, to znaczy do $v^2 = A^2 f^2$, gdzie f oznacza częstość drgań. Sprawdźmy tę zależność i wyznaczmy wykładnik krytyczny b z zależności potęgowej wyznaczającego zachowanie parametru porządku (patrz Równanie 1).

C.1 Parametr nierównowagi $\left| \frac{N_1 - N_2}{N_1 + N_2} \right|$ jest dobrym kandydatem na parametr porządku dla naszego układu, ponieważ przyjmuje wartość zero powyżej krytycznej amplitudy i jest równy 1 przy małych wzbudzeniach. Wyznacz ten parametr w funkcji amplitudy A . Zapisz swoje wyniki w **Tabeli C.1**. 1.1pt

C.2 Wykonaj wykres **Graph C.2** wielkości $\left| \frac{N_1 - N_2}{N_1 + N_2} \right|$ jako funkcję $|A_{\text{crit}}^2 - A^2|$, gdzie obie osie mają skalę logarytmiczną (skala podwójnie logarytmiczna). Możesz użyć danych z **Tabeli C.1** w swoich rachunkach. Punkty na wykresie mogą nie układać się ładnie na prostej, ale mimo to użyj regresji liniowej aby dopasować wyniki do wzoru na wykładnik krytyczny. 1pt

C.3 Wyznacz wykładnik krytyczny b i oszacuj jego niepewność. 1.4pt